



XVIII. Nemzetközi Tudományos Konferencia a Kárpát-medence Ásványvizeiről

18th International Scientific Conference on Mineral Waters of
the Carpathian Basin

TATA, MAGYARORSZÁG

2024. augusztus 29-30.

A konferencia szervezői:



Miskolci Egyetem, Víz- és Környezetgazdálkodás Intézet

Miskolci Egyetem, Egészségtudományi Kar



Felszín Alatti Vizekért Alapítvány



Sapientia EMTE, Csíkszeredai Kar



Kassai Műszaki Egyetem, Földtudományi Intézet

A konferencia társelnökei:

- Dr. Szűcs Péter (általános és tudományos rektorhelyettes, egyetemi tanár, Miskolci Egyetem)
- Dr. Lénárt László (címetes egyetemi tanár, kuratóriumi elnök, Felszín Alatti Vizekért Alapítvány)
- Tóth Mária (elnök, Magyar Hidrológiai Társaság Komárom-Esztergom Vármegyei Területi Szervezet)
- Dr. Kiss-Tóth Emőke (dékán, főiskolai tanár, Miskolci Egyetem, Egészségtudományi Kar)
- Dr. Máthé István (egyetemi docens, Sapientia EMTE, Csíkszeredai Kar)
- Dr. Ladislav Tometz (egyetemi docens, Kassai Műszaki Egyetem, Földtudományi Intézet)

A rendezvény célja szakmai fórumot biztosítani mindazoknak a szakembereknek, akik az ásványvizek feltárásával, kutatásával, tanulmányozásával, hasznosításával és védelmével foglalkoznak a Kárpát-medencében. A 18. alkalommal megrendezésre kerülő konferencia egy újabb lehetőséget nyújt eredményeik, terveik bemutatására, egymás munkájának jobb megismerésére, valamint az egyes szakterületek és régiók közötti együttműködés megteremtésére, illetve bővítésére.

Szerkesztette:

DR. ZÁKÁNYI BALÁZS
egyetemi docens
Miskolci Egyetem
Víz- és Környezetgazdálkodás Intézet

Címlap fotó:

DR. LÉNÁRT LÁSZLÓ
címetes egyetemi tanár
Miskolci Egyetem
Víz- és Környezetgazdálkodás Intézet

ISBN 978-963-358-338-8

SZÉKELY FERENC HIDROGEOLÓGUS, CÍMZETES EGYETEMI TANÁR, AZ MTA DOKTORA KÖSZÖNTÉSE 80. SZÜLETÉSNAJJA ALKALMÁBÓL

Kiváló embert és kiváló szakmai életutat bejárt kollégát köszönteni mindig megtisztelő feladat és kötelesség. Nincs ez másként jelen esetben sem, hiszen Székely Ferenc szakmai munkássága és segítőkész, alázatos emberi mivolta példaként állhat a jövő generációi előtt. A jelen konferencia tisztelettel és szeretettel köszönti Székely Ferenc hidrogeológust, címzetes egyetemi tanárt, az MTA doktorát 80. születésnapja alkalmából.

Székely Ferenc 1943-ban született Budapesten, ugyanitt végezte alap- és középfokú iskolai tanulmányait. 1961 és 1966 között a Moszkvai Szergo Ordzonikidze Geológiai Egyetemen tanult, ahol mérnökgeológia-hidrogeológia szakképesítéssel Bányamérnök-hidrogeológusi oklevelet szerzett. A műszaki doktori cím (Budapesti Műszaki Egyetem Építőmérnöki Kar 1972) megszerzését követően 1974-ben elnyerte a földtudományok kandidátusa tudományos fokozatot, 2006-ban pedig az MTA doktora címet. 1967 és 1970 között a Magyar Állami Földtani Intézetben (MÁFI), 1970-től 2006-ig, nyugdíjba vonulásáig a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézetben később Kutatóközpontban (VITUKI) dolgozott. Itt 1976 és 1984 között osztályvezetőként, azt követően pedig tudományos tanácsadóként tevékenykedett. 1989 és 2000 között egy év megszakítással a Kuwait Institute for Scientific Research (KISR) intézet kutatója volt. Tagja a Magyar Hidrológiai Társaságnak, a Magyar Termálenergia Társaságnak, az International Association of Hydrogeologists, valamint az International Geothermal Association szervezeteknek. Korábban alelnöke volt az MTA Hidrológiai Tudományos Bizottságának, 2004–2005-ben és 2010–2012-ben részt vett az OTKA zsűri munkájában. 2012-ben megválasztották az MTA Földtani Tudományos Bizottsága keretében létrehozott Hidrogeológiai Albizottság elnökének. Az utóbbi tisztségében a tagság egy újabb ciklusra is megerősítette. Szakmai tevékenységét közel 83 magyar és 13 idegen, főként angol nyelvű kutatási jelentés foglalja össze. Tudományos eredményeit 40 magyar és 43 javarészt angol nyelvű publikációban tette közzé. Pályafutása alatt több hazai és külföldi, ezen belül 23 dokumentált előadást tartott. Korábban a VITUKI-ban az UNESCO hidrológiai továbbképzési programja keretében végezett angol nyelvű oktatást. 2008 és 2016 között a Miskolci Egyetemen, valamint az Eötvös Loránd Tudományegyetemen meghívott előadóként a kúthidraulika elméleti és gyakorlati módszereit tanította. A Felszínalatti Vizeinkért Alapítvány szakmai munkájában 2001 és 2012 között nyolc előadással vett részt. A prezentációkban ismertetett eredmények szakmai közleményeiben, valamint az egyetemi oktatási anyagaiban is szerepet kaptak. Az Alapítvány kuratóriuma megtisztelő döntésével tevékenységét 2010-ben Ezüst Pohár díjjal ismerte el. A 2016-ig terjedő időszakban az ÉK Alföld területén részleteiben vizsgálta az ivóvíztárolókban kialakuló nyomáscsökkenéseket, a talajvíz természetes utánpótlását és megcsapolását, a klíma és a talajvízszint változásának a kapcsolatát. Ugyanebben a térségben elemezte a felszínalatti vízáramlás, a hőmérséklet eloszlás és a mélységi hőáram összefüggéseit. Az általa alapított HYGECON Kft. kivitelezésében is

több hazai projekt munkálataiban vett részt. A bátaapáti kis és közepes aktivitású radioaktív hulladéktároló területén a fúrások mérési adatainak felhasználásával kúthidraulikai, interferencia és oldat transzport modellezéseket végezett. A hulladéktároló felszíni telephelyét befogadó Nagymórági völgy vízgyűjtőjére vonatkozóan extrém árvízi és eróziós előrejelzést végezett. Modellezési munkákkal vett részt a pécsi rétegvíz bázis védőidomának a kijelölésében. Továbbfejlesztette a numerikus multi-hálózatos modellezési technikát és az erre épülő FSH (Flow-Solute-Heat) szoftvercsomagot. Ezt a szoftvert hévízre alapozott geotermikus fűtőművek továbbá talajvízbázisú hőszivattyús rendszerek tervezésénél alkalmazta. Külső szakértőként a Miskolci Egyetem Kútfü projektjét kúthidraulikai és modellezési területeken támogatta. Külső konzulensként a Miskolci Egyetem és az ELTE egy-egy diplomázó hallgatóját, valamint a Miskolci Egyetem egy doktorandusz hallgatóját segítette kúthidraulikai modellezési témakörben. Egy német kiadó megkeresésére „Integrated well flow modeling” címmel kúthidraulikai szakkönyvet írt. 2016-ban a Miskolci Egyetemen címzetes egyetemi tanári kinevezést kapott.

Tisztelt Székely Ferenc Professzor Úr! A „XVIII. Nemzetközi Tudományos Konferencia a Kárpát-medence Ásványvizeiről” című rendezvény résztvevői, és a szélesebb szakmai közösség nevében is kívánunk további sok sikert, erőt és egészséget! Isten éltesse sokáig!

Tata, 2024. augusztus 29.

Jó szerencsét!

A konferencia szervezői

ORSZÁGHATÁRON ÁTNYÚLÓ HATÁSOK A MAGYARORSZÁGI VÍZKÉSZLETEKRE, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A TERMÁLVIZEKET ILLETŐEN

TRANSBOUNDARY EFFECTS ON HUNGARIAN WATER SUPPLIES, WITH PARTICULAR REGARD TO THERMAL WATERS

Szűcs Péter¹, Zákányi Balázs², Nyiri Gábor³

¹egyetemi tanár, az MTA levelező tagja, Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar, Víz- és Környezetgazdálkodás Intézet 3515 Miskolc, Egyetemváros, peter.szucs@uni-miskolc.hu

²egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar, Víz- és Környezetgazdálkodás Intézet 3515 Miskolc, Egyetemváros, balazs.zakanyi@uni-miskolc.hu

³tudományos munkatárs, Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar, Víz- és Környezetgazdálkodás Intézet, 3515 Miskolc, Egyetemváros, gabor.nyiri1@uni-miskolc.hu

Összefoglaló

Magyarország speciális földrajzi elhelyezkedése miatt igen jelentősek a vízkészleteinket érintő külföldi hatások. Ezek a határon átnyúló hatások nemcsak a hazai felszíni víztestek mennyiségi és minőségi állapotára gyakorolnak befolyást, hanem a felszín alatti víztestek egy jelentős részére is. A hazai hévízgazdálkodás számára különösen fontos, hogy ismerjük ezeket az összefüggéseket, hiszen fenntartható módon csak így tudjuk páratlan értékű hévízkincsünket hasznosítani, legyen szó akár balneológiai vagy energetikai célú felhasználásról.

Kulcsszavak: vízkészletvédelem, termálvíz, vízgyűjtő, határral osztott víztest

Abstract

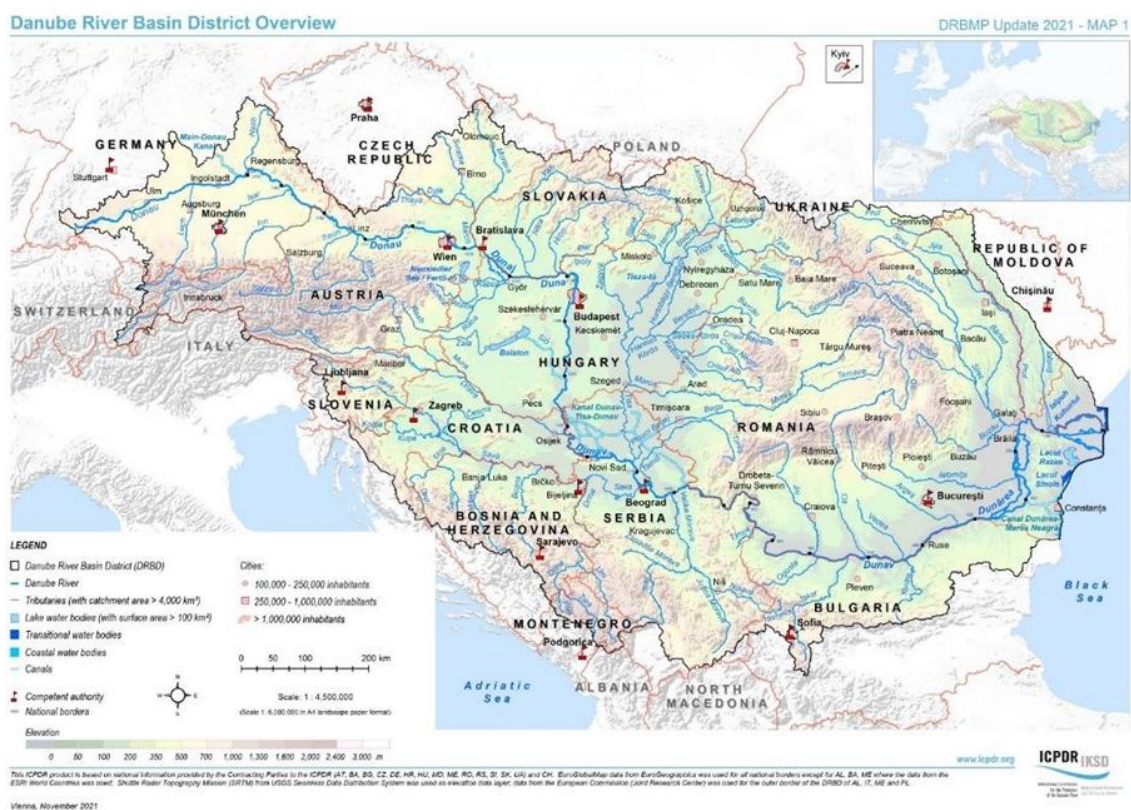
Due to Hungary's special geographical location, foreign influences affecting our water resources are very significant. These cross-border effects not only affect the quantitative and qualitative state of domestic surface water bodies, but also a significant part of underground water bodies. It is particularly important for domestic thermal water management to know these connections, since this is the only way we can sustainably utilize our unique hot water resource, whether it is for balneological or energetic purposes.

Keywords: water resource protection, thermal water, transboundary aquifer

Bevezetés

Magyarország és földrajzi helyzete egészen különleges (Bobok és Tóth, 2010). Ez is a magyarázata annak, hogy a határon átnyúló hatásoknak igen jelentős szerepe van a hazai vízkészletekre. A Duna vízgyűjtő területe Európa 2. legnagyobb vízgyűjtő területe (Szűcs et al, 2013). Nagysága több, mint nyolcszáz ezer négyzetkilométer (1. ábra). Ezen a vízgyűjtő területen több, mint 80 millió ember él mintegy 19 országban. E tények alapján ez a vízgyűjtő terület tekinthető a legnemzetközibb vízgyűjtő területnek a világon (Szűcs

et al 2013, Fernandez et al, 2017). Magyarország a Duna vízgyűjtőjének a kellős közepén helyezkedik el talán ez is közrejátszik abban, hogy a határon átnyúló hatások igen jelentősek a magyarországi felszíni és felszín alatti víztestekre (Székely, 2010; Székely et al 2015). Földrajzi szempontból Magyarország a Kárpát medence közepén helyezkedik el. A Kárpát medence a föld egyik legzártabb medencéjének tekinthető vízháztartási szempontból. Ez azt jelenti például, hogy kilencvenhat százaléka a magyarországi felszíni vizeknek külföldről érkeznek, de a száznyolcvanöt kijelölt felszín alatti víztest mintegy fele is határral osztott nemzetközi felszín alatti víz adónak tekinthető.



1. ábra A Duna vízgyűjtő területe

Hátáron átnyúló hatások kezelése a hazai vízkészletek vonatkozásában

Sajnos több esetben Magyarország a vízgazdálkodási szempontból kedvezőtlen alvízi oldalon helyezkedik el (Szűcs et al, 2015a). A felszín alatti vízkészletek kulcsfontosságúak, illetve stratégiai fontosságúak Magyarországon (Szanyi és Kovács 2010; Buday et al, 2015; Somlyódy, 2011). Ezért különösen fontos, hogy a határral osztott felszín alatti víz adók esetében jó gyakorlatokkal rendelkezünk. Ilyen jó gyakorlatról számolhatunk be a SQUASH NATO Tudomány a Békéért program keretében a Szamos alluviális vízgyűjtőjének a vizsgálatáról. Ebben az időszakban megtanultuk, hogy hogyan lehet az európai víz keretirányelvnek megfelelően kezelni a határral osztott felszín alatti víz adókat és egy konkrét projekt során nagyon jó együttműködést alakítottunk ki a román

és a magyar szakemberek között. Ugyancsak jó együttműködésről számolhatunk be egy magyar-ukrán határral osztott vízáadó komplex hidrogeológiai vizsgálata esetében is, amelynek keretében kialakítottuk azt a jó szakmai gyakorlatot, hogy hogyan lehet meghatározni az ún. „fair” vízgazdálkodási gyakorlatot, illetve hogyan lehet meghatározni a fenntartható módon hasznosítható felszín alatti vízkészletet egy határral osztott felszín alatti vízáadó esetében. Sajnos tény, hogy minden évben a Tisza jelentős mennyiségű úszó szemetet hoz le az áradások során Ukrajnából. Ennek egyik fő oka az, hogy a kommunális hulladék gyűjtés rendszere nincs megoldva Kárpátalján. A Tisza mentén az áradások idején bizony jelentős mennyiségű lerakott hulladék mosódik be a folyóba. Ez a jelentős mennyiségű úszó hulladék aztán az áradással Magyarország területére érkezik. Sajnos ezekben az esetekben Magyarországon kell gondoskodnunk arról, hogy e hulladék mennyiség eltávolításra kerüljön a folyóból.

Vásárosnamény környékén építettek ki egy olyan hulladék befogó csapdát, ahol ezt az elsősorban műanyag hulladékot a Tiszából el lehet távolítani. Budapest ivóvíz ellátásában a parti szűrésű víz adóknak, a parti szűrésű vízellátásának igen jelentős szerepe van. Ebben az esetben Budapestenél a Duna játssza a víz utánpótlásnak a szerepét. Ugyanakkor azt is tudjuk, hogy a Duna vízminősége alapvetően külföldi határon átnyúló hatásoktól függ. Ennek az egész komplex rendszernek a vizsgálatára egy nemzeti kiválósági programot indítottunk, amelynek a neve Tiszta ivóvíz: a biztonságos vízellátás multidiszciplináris értékelése a forrástól a fogyasztóig volt. A főbb megállapítások között szerepelt, hogy a vizsgált komponensek ötvenhat százalékát eltávolítja a parti szűrés Budapest esetében. A jó minőségű és biztonságos ivóvízellátás generációkon keresztül biztosítható. Gyógyszermaradványok megjelentek a Duna vízében, de ezeknek a koncentrációja még mindig nagyon kicsi, 10 ng/liternél kisebb értékűek. Bizony egyértelműen kimutathatóak a klimatikus hatások vagy éghajlatváltozásra hatások a Duna vízminősége kapcsán. Például mikrobiológiai és egyéb szempontból is mondhatjuk, hogy a szeptember hónap manapság már egyértelműen a nyári hónapnak tekinthető. Hasonló, mint a július vagy az augusztus a vízminőségi kérdések szempontjából. Magyarország esetében egy medencében helyezkedünk el. Így igen jelentősek a külföldi hatások (Szűcs et al, 2015b). Emiatt fontos és nagy jelentős szerepe van egy jól működő riasztó rendszernek, hogy a véletlenszerű vagy haváriás szennyeződések hatásait minél hamarabb észlelni lehessen, valamint meg tudjuk tenni a szükséges beavatkozásokat. Az ilyen határon átnyúló problémák sok esetben egészen messziről is kedvezőtlenül képesek befolyásolni a magyarországi folyó vizeknek a minőségi állapotát.

Az egyik ilyen jól ismert nemzetközi példa az Aknaszlatina település és az ott található elárasztott és beszakadt sóbánya környezetvédelmi problémája. Ez a környezetvédelmi probléma száznegy kilométerre helyezkedik el a magyar határtól, mégis magyarországi területen a nyári időszakokban jelentős mennyiségű só terhelést, klorid és nátrium koncentráció terhelést tudtak kimutatni a vízügyes kollégák. A vizsgálatok során sikerült felderíteni e nagy oldott só terhelésnek a forrását. Sikerült azonosítani és megtalálni Aknaszlatinán a tiszai vízminőség-védelmi probléma okát. E komplex környezetvédelmi probléma kezelése (2. ábra) okán egy nemzetközi projektet generáltunk REVITAL I. HUSKROUA projekt néven, hogy ezt a helyzetet kezeljük. A REVITAL I. nemzetközi projekt tehát elindított egy széleskörű szakmai összefogást. Megindult az állapotfelmérés,

és a Miskolci Egyetem szakmai vezetésével elindítottunk egy monitoring tevékenységet is Aknaszlatinán. Emellett elkészítettünk egy revitalizációs tervet is, valamint innovatív új tudományos módszereket is sikerült alkalmaznunk a területen. Példaképpen megemlíthetem a UNEXMIN bűvár robotnak az alkalmazása, amelynek a segítségével sikerült az elárasztott a bányatereket és aknákat feltérképezni és az ott lévő állapotokat egyértelműen megismerni.



2. ábra Az elárasztott és beszakadt sóbánya Aknaszlatinán

Magyarország felvízi szomszédjainál jelentős mennyiségű működő és felhagyott bányaterület található (3. ábra), amelyek potenciális szennyező forrásként működnek (Szűcs et al, 2015b). Itt egy szintén egy jó példára hívhatjuk fel a figyelmet. Egy olyan határon átnyúló kooperációra került sor szlovák és magyar szakemberek között, amelynek keretében elindítottunk egy Interreg pályázati programot, amely a Sajó folyó mentén lévő bányászati tevékenység környezeti hatását kívánja felmérni. Egy olyan új módszertant létrehozni, amelynek keretében elkerülhetjük azokat a környezetvédelmi problémákat, amelyek például 2022 elején is előfordultak a Sajóban, amikor a folyó szlovákiai oldalán egy bányából jelentős mennyiségű oldott fém, elsősorban vas, valamint toxikus fémek kerültek ki.

Magyarország esetében természetesen meg kell említeni a vörösiszap katasztrófát, amely 2010-ben történt. Ebben az esetben a jó szakmai példát abban a tekintetben mondhatjuk, hogy az azonnali beavatkozások eredményeképpen sikerült a problémát a dunántúli régióban helyben tartani. Így a Duna vízminősége már nem szenvedett kárt. Így ugyan Ajka környéke, Kolontár és a szomszédos települések esetében tényleg egy elképesztő katasztrófáról beszélhetünk, azonban a Duna vízminősége, illetve a

Magyarországtól délre lévő országokban a Duna vízminősége már semmiféle problémát nem mutatott.



3. ábra Bányatelepülések a Sajó vízgyűjtő területén

Összefoglalás

Konklúzióként a következő dolgok említhetők meg. A víz körforgalom elemei és a szennyeződések nem ismernek politikai határokat. A teljes vízgyűjtő területet kell vizsgálni mind a felszíni vizek, mind a felszín alatti vizek vonatkozásában, amikor komplex vizsgálatokat végzünk. Az extrém időjárási körülmények felgyorsítják a határon átnyúló hatásokat. A megfelelően kidolgozott és működtetett figyelmeztető rendszerek és monitoring rendszerek stratégiai fontosságúak a víztestek állapotának megőrzésében. Nagyon fontos a teljes adatszere és a szakemberek közötti együttműködés határral osztott vízkészletek esetében. A prevenció mindig jobb, mint a kárelhárítás. Emellett és

természetesen próbáljunk minél több új tudományos eredményt is alkalmazni a mindennapok vízgazdálkodási gyakorlatában.

Köszönetnyilvánítás

„A kutatást az MTA Fenntartható Fejlődés és Technológiák Nemzeti Program (FFT NP FTA) támogatta.”

Felhasznált irodalom

- Bobok E. – Tóth A. (2010): A geotermikus energia helyzete és perspektívái. Magyar Tudomány, 8. sz., 926–936.
- Buday T. – Szűcs P. – Kozák M. – Püspöki Z. – Mcintosh R. W. – Bódi E. – Bálint B. – Bulátkó K. (2015): Sustainability aspects of thermal water production in the region of Hajdúszoboszló-Debrecen, Hungary. *Environmental Earth Sciences* 74, 7513-7521.
- Fernandez, I. - Petitta, M. - Hinsby, K. - Cseko, A. - Szűcs, P. - Garcia Padilla, M. , Hartai, E. Bisevac, V. - Stein, A. - Bodo, B. – Van der Keur, P. - Mikita, V. – Van Leijen G., Garcia Alibrand, C.M. (2017): The KINDRA project – towards Open Science in Hydrogeology for higher impact. *European Geologist* 44, November, 2017, 39-43
- Somlyódy L. (ed.) (2011): Köztisztületi Stratégiai Programok. Magyarország vízgazdálkodása: helyzetkép és stratégiai feladatok. MTA, Budapest.
- Szanyi J. – Kovács B. (2010) Utilization of Geothermal Systems in South-East Hungary. *Geothermics*. 39, 357-364.
- Székely F. (2010): Hévízeink és hasznosításuk. Magyar Tudomány. 12. sz., 1473–1485.
- Székely F., Szűcs P., Zákányi B., Cserny T., Fejes Z. (2015): Comparative analysis of pumping tests conducted in layered rhyolitic volcanic formations. *Journal of Hydrology*, 520, 180-185.
- Szűcs P., Virág M., Zákányi B., Kompár L., Szántó J. (2013): Investigation and Water Management Aspects of a Hungarian-Ukrainian Transboundary Aquifer. *Water resources* 40(4), 462-468.
- Szűcs P., Kompár L., Palcsu L., Deák J. (2015a): Estimation of groundwater replenishment change at a Hungarian recharge area. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 10(4), 227-246.
- Szűcs P., Fejes Z., Zákányi B., Székely I., Madarász T., Kolencsikné Tóth A., Gombkötő I. (2015b): Results of the WELLaHEAD Project connected to water and mining. Geothermal potential of the Tokaj-Mountains. Pilot test of passive acid mine drainage water management. *FOG – Freiberg Online Geology*, 40, 170-177.

DISCOVERING THE SUBSURFACE OF WATER SINKS: TESTING OF A NEW GEOELECTRIC METHODOLOGY IN THE BÜKK MOUNTAINS, HUNGARY

VÍZNYELŐK FELSZÍN ALATTI RÉSZÉNEK FELTÁRÁSA: EGY ÚJ GEOELEKTROMOS MÓDSZER TESZTELÉSE A BÜKK- HEGYSÉGBEN, MAGYARORSZÁGON

Marcell Kárpi ¹, Mátyás Krisztián Baracza ¹, Sándor Szalai ²
József Pap ¹ Hafedh Nasser Almousaedi ³

¹University of Miskolc, Research Institute of Applied Earth Sciences

²Institute of Earth Physics and Space Science (ELKH-EPSS), Sopron, Hungary

³University of Miskolc, Department of Geophysics

Abstract

The interaction between geological structures and hydrological processes in karst areas is crucial for hydrogeology. Sinkholes, also known as dolines, are surface depressions formed by the dissolution of soluble rocks like limestone, dolomite, or gypsum. They act as entry points for surface water to reach underground reservoirs, significantly influencing local hydrogeological systems. The formation of sinkholes is facilitated by acidic water contact with rocks. Sinkholes offer insights into subsurface hydrogeological processes. This article presents a new geological mapping technique for sinkholes and their surroundings using the multi-electrode geoelectric method. Traditional linear electrode arrangements may miss the complex spatial variability in karst areas. To address this, we used a circular electrode arrangement around the sinkhole, providing comprehensive spatial coverage and evaluating new quasi-null arrays. By comparing different electrode configurations—traditional, and quasi-null—we aim to optimize the detection of subsurface flow paths, fractures, and dissolution channels. Integrating innovative geoelectric techniques with hydrogeological principles, this article provides a multifaceted approach to exploring the geology beneath karst landscapes, enhancing our understanding of sinkholes and their roles.

Keywords: *geophysics, multi-electrode, geoelectric method*

Összefoglaló

A karsztos területeken a geológiai struktúrák és a hidrológiai folyamatok közötti kölcsönhatás a hidrogeológia szempontjából kulcsfontosságú. A karsztgödrök, más néven dolinák, olyan felszíni mélyedések, amelyek oldható kőzetek, például mészkő, dolomit vagy gipsz feloldódásával keletkeztek. Ezek a felszíni víz számára belépési pontként szolgálnak a földalatti tározókba, jelentősen befolyásolva a helyi hidrogeológiai rendszereket. A víznyelők kialakulását a kőzetekkel érintkező savas víz segíti elő. A víznyelők betekintést nyújtanak a felszín alatti hidrogeológiai folyamatokba. Ez a cikk a víznyelők és környezetük új geológiai térképezési technikáját mutatja be, amely a többielektrodás geoelektromos módszert alkalmazza. A hagyományos lineáris elektródaelrendezések figyelmen kívül hagyhatják a karsztos területek összetett térbeli változékonyságát. Ennek megoldására a víznyelő körül kör alakú elektróda elrendezést alkalmaztunk, amely átfogó térbeli lefedettséget biztosít, és új kvázi-null elrendezéseket értékel. A különböző elektródaelrendezések - tradicionális és kvázi-null - összehasonlításával a felszín alatti áramlási útvonalak, törések és oldódási csatornák kimutatásának optimalizálása a célunk. Az

innovatív geoelektromos technikák és a hidrogeológiai elvek integrálásával ez a cikk sokoldalú megközelítést nyújt a karsztos tájak alatti geológia feltáráshoz, javítva a víznyelők és szerepük megértését.

Kulcsszavak: geofizika, többelektrodás, geoelektromos módszer

Introduction

Sinkholes and dolines are karst phenomena resulting from underground dissolution. A sinkhole is a small, circular or oval depression, usually about tens of meters in diameter and varying depths, indicating underlying cave systems. Dolines are larger, deeper depressions formed from long-term interactions between underground water systems and surrounding rock, leading to dissolution and collapse. Open karst areas exhibit visible karst processes, while covered karst areas have underground processes with minimal surface signs. The geoelectrical research method (ERT) is widely used due to its applicability across various fields (Arjwech et al, 2021; Bosino et al, 2024; Liu et al, 2023). Initially for structural and ore exploration, it now addresses hydrogeological, environmental (Youssef et al, 2020), engineering, safety (Arjwech et al, 2021), archaeological issues and more, that the industry needs. ERT operates at shallow depths, making it suitable for many problems. It involves injecting current into the ground through two electrodes and measuring the potential difference between two other electrodes. Four-electrode systems are common, with potential for more complex arrangements. The potential difference is used to calculate apparent resistivity (ρ_a), an average characteristic of the surrounding rock, influenced by water content. Each ERT arrangement has its pros and cons, and finding the optimal configuration is essential. Sometimes, integrated measurement methods (Pazzi et al, 2018) are used in the industry, which are also a very effective, but costly method. Null configurations, which produce zero signals over homogenous half-spaces, making apparent resistivity calculation impossible due to their infinite geometric factor (Szalai, 2020). Recent research focuses on quasi-null configurations, proposed by Dr. Sándor Szalai, which measure near-zero signals, allowing for resistivity calculations. Modern measurements use multi-electrode systems controlled by computers, systematically switching electrode roles. Two-dimensional (2D) sections are common, assuming no resistivity changes perpendicular to the section. Data from these sections undergo inversion to create true resistivity profiles. This article examines quasi-null configuration $W_{\gamma}null$, and compares it with the traditional DPDP array. These configurations provide small, near-zero resistivity values, overcoming issues of traditional null configurations and enhancing geophysical interpretations.

Study site

The sinkhole under investigation is located in the Csókás Tető area of the Bükk Mountains. Several sinkholes are situated a few hundred meters apart (Figure 1.). The goal of the measurements is to detect the fault line connecting these sinkholes. The coordinates of the measurement site are: x 764862,135955; y 311145,138105.

Electrode geometry

The three measured sections are as follows (Figure 2.): Cir1 small circular section, Cir2 large circular section, and L1 straight, 2D section. The circular sections provide practically 2.5D information about the sinkhole's surroundings. The parameters are: number of electrodes, number of overlapping electrodes (needed due to the trapezoid shape of the inverted image), r as the radius of the circle, d as the electrode distance, and α as the angle between two electrodes from the circle center.

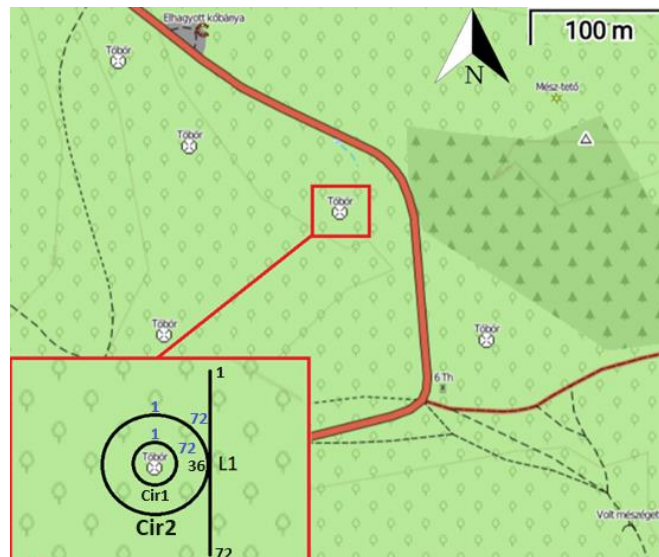


Fig. 1. Map of the study site at Csókás tető, Bükk Mountains

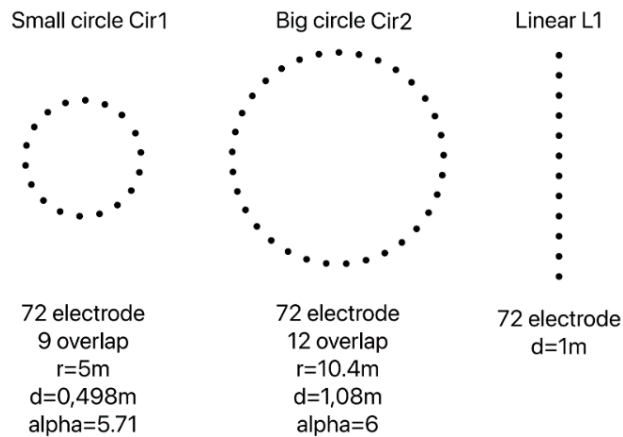


Fig. 2. Parameters of the three sections

Figure 3 shows the orientation, the method of overlaps, and the contact between the L1 2D section and Cir2 (L1 electrode 36 = Cir2 electrode 16). Electrode number order is clockwise. The reason for laying the 2D section is to characterize the fractures using another method, and to compare the effectiveness of the circular sections. We plan to

measure two more 2D sections at the site in the future, which will intersect at 45 degrees. The future of these measurements is to prove that one circular section can substitute the linear sections, so that we can have the same or better quality results, while saving time and money.

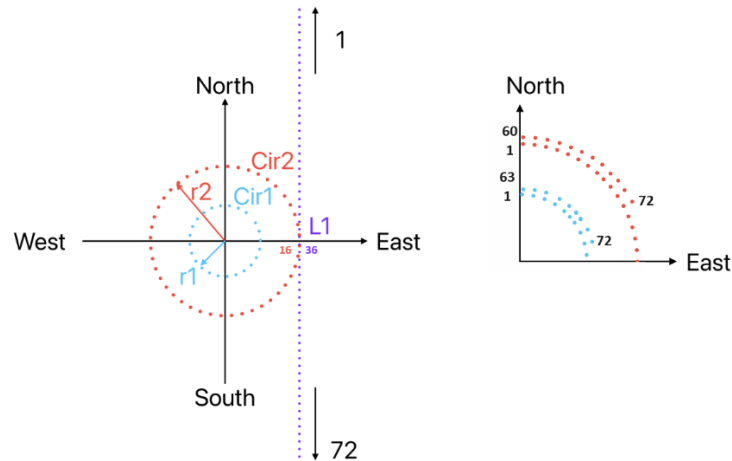


Fig. 3. The three surveys and the overlaps

The ERT sections

To interpret the sections, a few basic pieces of information need to be clarified. The research also includes graphing the results measured in null configurations, which requires programming. For comparison, we show a result measured with a traditional array, and inverted in industry standard RES2DINV, and later the quasi-null results inverted in RES2DHU. We managed to create polar diagrams from the output files of the RES2DINV software, one of them is presented with the results measured in the traditional electrode configuration. Additionally, topography was not added due to the RES2DINV's graphical issues. The images of quasi-null configurations may seem "pixelated" or low-resolution, but this representation actually better illustrates the method's resolution capabilities compared to the industrial software, which uses smoothing in its representations. Thus, although these images may not be as visually appealing as those from RES2DINV, but they are equally or even more interpretable for the geophysicist.

The L1 linear section

On Figure 4, we can see the results measured with the DPDP array. It is important to note that the horizontal sensitivity of the DPDP arrangement is one of the best among traditional setups. The image shows two high-resistance blocks (marked 1 and 2): one in the middle of the section and the other at the end of the section. The rounded shape of (1) in the middle may be due to rock boundaries at its edges, as there is a significant difference in resistance. Anomaly number 2 may indicate a cavity or fractured limestone. The small anomaly (3) appearing in brown between the two blocks could be limestone of different quality or a cavity. As one can see this image only contains interpretable information of

the three mentioned anomalies, but no clear indication of the sinkhole shape, or crack lines. We can conclude the traditional method partly fails at this situation.

The program primarily written for inverting quasi-null measurements is RES2DHU, developed by Ernő Prácser and Sándor Szalai (Prácser, 2015). Traditional configurations can also be inverted with this software. In Figure 5, the DPDP results are shown. Two high-resistance blocks appear here: the central block has cone shape (1), and on the right, a bigger round shape (2).

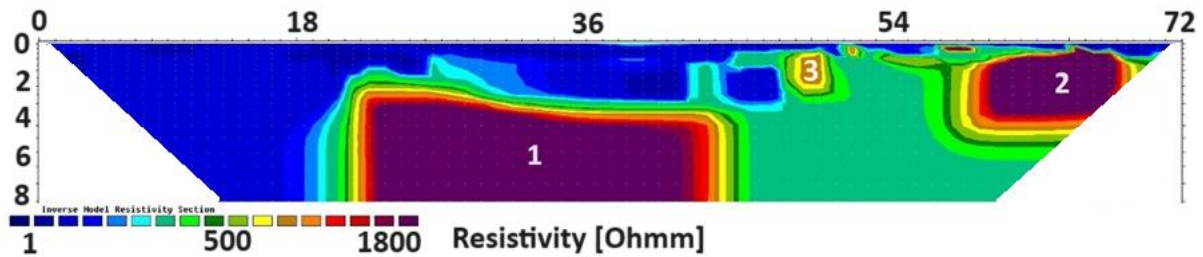


Fig. 4. The DPDP image of the L1 section

A slanted rock boundary can be observed between the two blocks marked with green lines. The small anomaly between the two main blocks (3) has lower resistance values. On Figure 5, marked with a green parabola, the shape of the sink hole and a transition zone can be seen. This transition zone means different quality of soil and rock, can be cracked, more porous and water saturated than its environment. It also has to be mentioned that the depth of detection differs between Figure 4 and 5, even though they are measured with the same array. The reason being the two inversion softwares have different imaging methods.

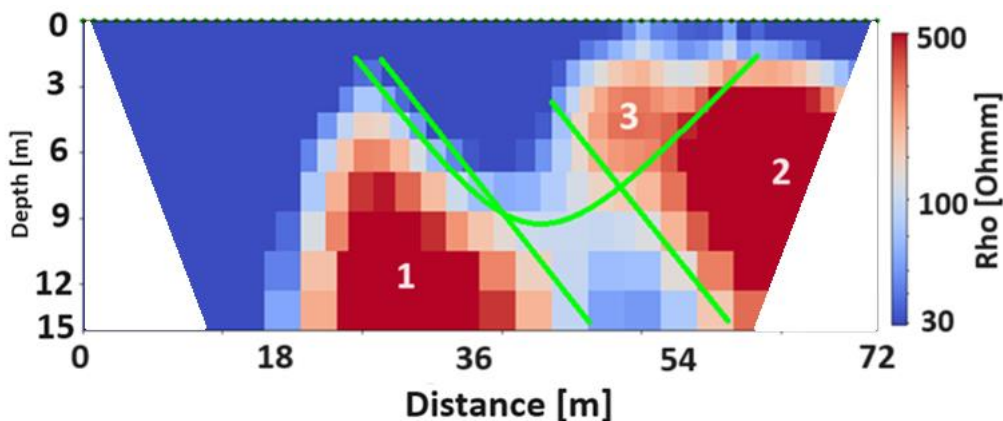


Fig. 5. The DPDP image of L1 section

The L1 linear section

Since circular measurements are unconventional in the field, polar diagram representation (Figure 6) is also a novelty. However, it is perhaps one of the most

representative ways to display such measurements. We wrote a custom Python program for these visualizations. Each of the 12 depth levels represents a separate diagram. The sudden changes in resistance, appearing as spikes with values of several thousand Ohms, can likely be identified as crack lines. The divisions of the polar diagram represent the cardinal directions. The main direction of the crack lines considering all depth levels is Northwest as can be seen on Figure 1, the sinkholes align in also a Northwest direction chain. In the first few depth levels sudden changes appear, the first one being the most uncertain or most cracked, it has three main directions.

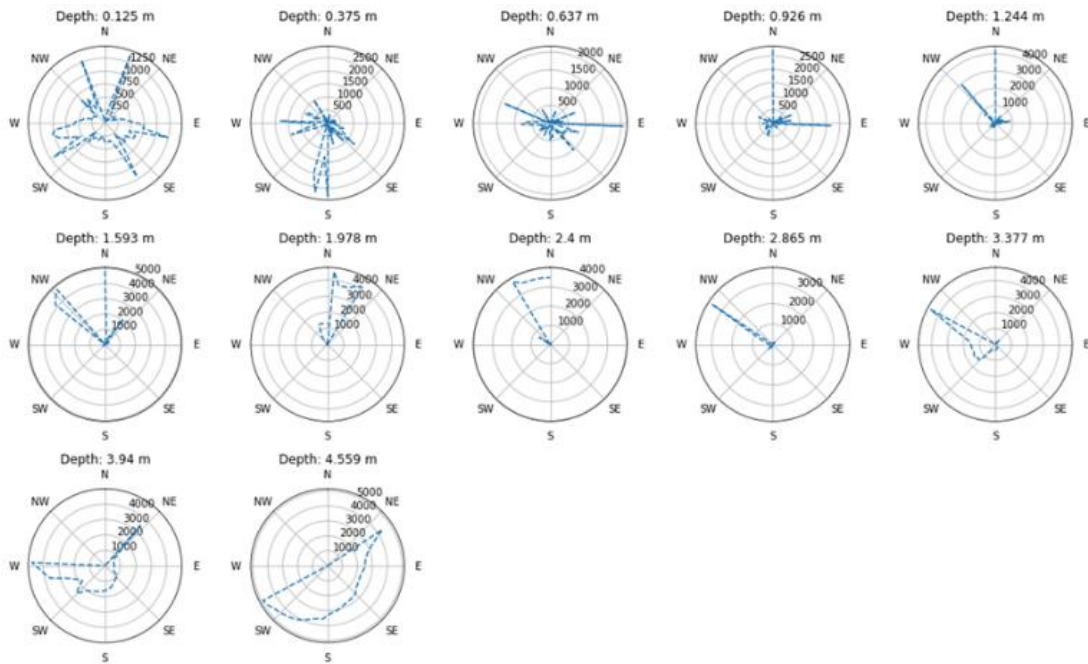


Fig. 6. The DPDP polar diagram of Cir1 section

The Cir2 circular section

In Figure 7, the DPDP clearly distinguishes the substrate, which appears deeper here because the Cir2 section was spread higher on the side of the sinkhole compared to the Cir1 section. The conductive upper layer disappears in the middle of the section and is followed by higher resistance inhomogeneous debris. Then, at the end of the section, the conductive layer reappears; however, this part should be disregarded due to the overlap. The three-layer model is not fulfilled in this image, but the good horizontal resolution of the DPDP successfully detected separate smaller anomalies, which could be cavities or high-resistance limestone blocks.

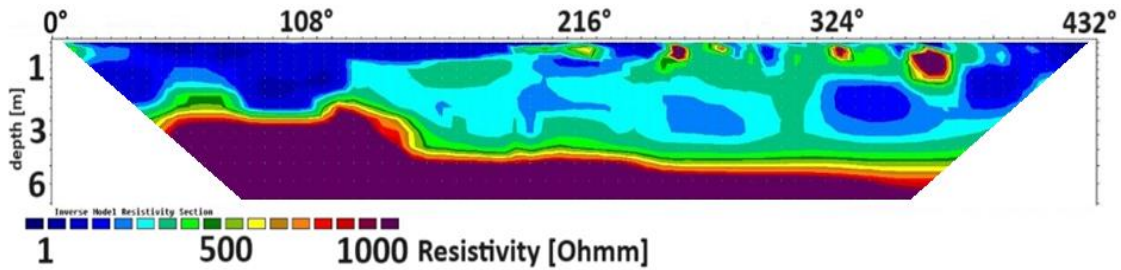


Fig. 7. The DPDP image of the Cir2 section

The WGQ results (Figure 8) are not always invertible due to various computational and measurement technical reasons, making the inverted images not always interpretable. Repeated measurements have shown that it can produce an opposite, almost negative image compared to similar quasi-null arrangements. Despite this, it seems to track sudden resistance changes very well, which can be measured along cavities or fractures. This issue requires further research, as it can provide seemingly good results even in the apparent resistivity image. In Figure 8, three main discontinuities can be seen in the high-resistance base rock, and there are depressions in the weathered layer at both the beginning and end of the section. The high-resistance substrate is well distinguished.

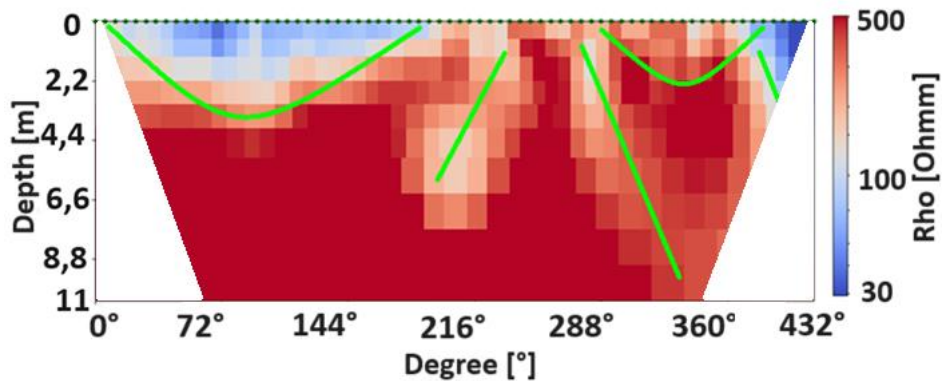


Fig. 8. The Wgqnull image of the Cir2 section

In the Wenner polar diagrams of the Cir2 section (Figure 9), the following trends are observed: the first five depth levels show a west-northwest direction, the next four levels indicate a northern direction, and after 3.346 meters, the predominant direction is mostly east, with the lower two depth levels showing uncertain variations. It can be concluded that this representation method highlights only the information of interest, in this case, the direction of the fracture lines.

Conclusion

Overall, it can be concluded from the results of measurements and data processing according to the new method that circular geometry measurements work very well in practice. Many professionals fear errors resulting from electrode positioning, but these measurements demonstrate the robustness of the method. The polar diagram

representation, as an innovation, provides high-quality information about the direction of fractures, and the quasi-null arrays closely follow the transformation fronts of sinkholes. Combining polar diagram representation with quasi-null arrays can open up new horizons for the method. Thus, it can be stated that the method is more economical both in terms of time and money for solving such tasks. In the future, it will be necessary to convert .dat files generated by the RES2DHU program for polar and 3D diagram software, which will provide easier interpretation and more accurate geological descriptions. We also plan to measure a third, larger circle (Cir3) to trace the main fault line. Alongside the already measured 2D L1 profile, two other 2D profiles will be measured at 45-degree angles. It is possible that the previously measured profiles will be remeasured for monitoring purposes, to account for the effects of different hydrological periods.

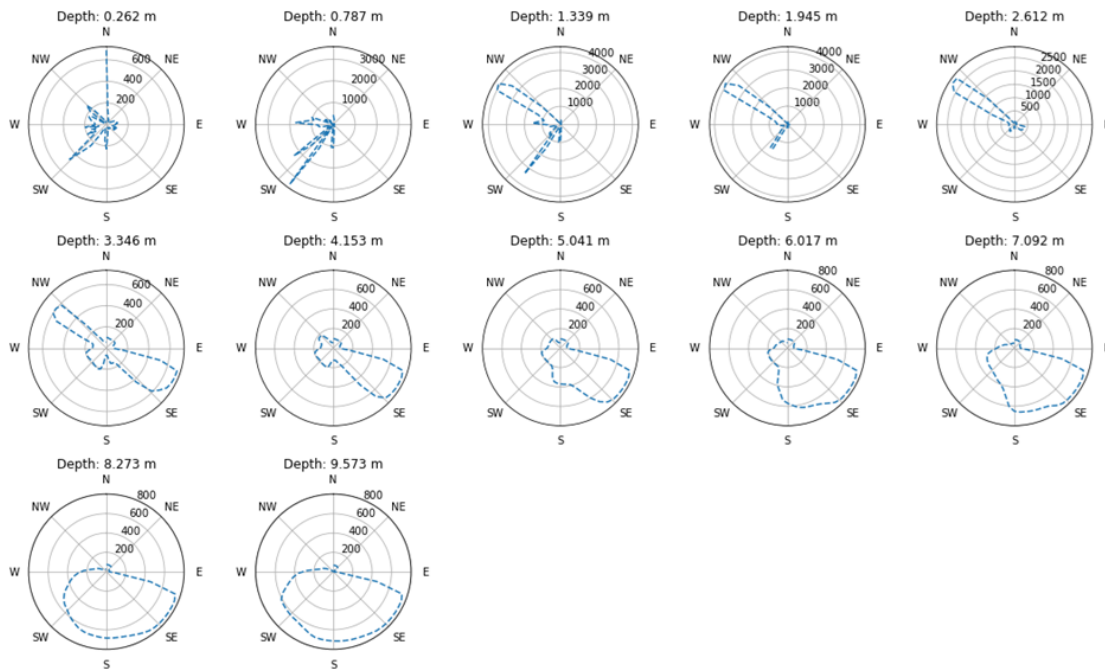


Fig. 9. The DPDP polar diagram of the Cir2 section

References

- Arjwech R., Ruansorn T., Schulmeister M., Everett M. E., Thitimakorn T., Pondthai P., Somchat K. (2021): Protection of electricity transmission infrastructure from sinkhole hazard based on electrical resistivity tomography. *Engineering Geology* 293 106318
- Bosino A., Mandarino A., De Amicis M., Cazzini F. F., Abu El Khair D., Flores P. (2024): Assessment of piping-sinkhole development in a fluvial-terrace scarp retreat environment: A multi-temporal analysis on the lower Ticino River (Italy). *Geomorphology* 450 109082
- Liu R., Sun H., Qin J., Zheng Z. (2023): A multi-geophysical approach to assess potential sinkholes in an urban area. *Engineering Geology* 318 107100
- Pazzi V., Filippo M.D, Nezza M.D, Carlà T. M., Bardi F., Marini F., Fontanelli K., Intrieri E., Fanti R. (2018): Integrated geophysical survey in a sinkhole-prone area: Microgravity,

- electrical resistivity tomographies, and seismic noise measurements to delimit its extension. *Engineering Geology* 243 282-293
- Prácsér E. (2015): Az elektromos és elektromágneses geofizikai módszerek matematikai alapjai, Kézirat
- Szalai S. (2020): Geoelektromos kvázi null elrendezések és kis skálájú repedésrendszerek vizsgálata (MTA Doktori Értekezés)
- Youssef A.M., Zabramwi Y. A., Gutiérrez F., Bahamil A.M., Otaibi Z.A., Zahrani A. J. (2020): Sinkholes induced by uncontrolled groundwater withdrawal for agriculture in arid Saudi Arabia. Integration of remote-sensing and geophysical (ERT) techniques.: *Journal of Arid Environments* 177 104132

QUANTIFICATION OF DOMAIN HEAT REGENERATION AROUND DEEP BOREHOLE HEAT EXCHANGERS WITH CYCLIC OPERATION

A MÉLYFÚRÁSÚ HŐCSERÉLŐK KÖRÜLI HŐVISSZANYERÉS MENNYISÉGI MEGHATÁROZÁSA CIKLIKUS ÜZEM MELLETT

József Pap ¹, Mátyás Krisztián Baracza ²

¹*Petroleum Engineer, University of Miskolc - Research Institute of Applied Earth Sciences*

²*Director of Institute, University of Miskolc - Research Institute of Applied Earth Sciences*

Abstract

Heat pumps supported by vertical ground heat exchangers became popular in the past decades, as they are sustainable and economically feasible energy sources for direct heating applications. While these wellbores are drilled to shallow depths (100-150 m), several heat exchangers are needed to satisfy the energy requirements of specific facilities. An alternative approach is to convert dry hydrocarbon wells, where significantly greater heat potential is reached via circulating the working fluid on higher flow rate through greater depths (Tóth et al, 2018). As long-term constant operation continuously reduces performance, one design principle is to consider intermittent operation, where recovery periods allow heat replenishment around the wellbore.

Keywords: *DBHE, heat regeneration, cyclic operation, performance enhancement, optimization*

Összefoglaló

A függőleges talajszondákkal támogatott hőszivattyúk az elmúlt évtizedekben kiemelten népszerűek, mivel fenntartható és gazdaságosan megvalósítható energiaforrást jelentenek közvetlen fűtési alkalmazásokhoz. Bár a talajszondákat jellemzően sekély mélységbe (100-150 m) mélyítik, több fűrésra is szükség lehet egyes létesítmények energiaigényének kielégítéséhez. Egy alternatív megoldás a meddő szénhidrogén kutak átképzése, melyet követően a munkafolyadékot nagyobb célmélységbe, magasabb térfogatáramon juttathatjuk, így lényegesen nagyobb hőteljesítmény érhető el. Mivel a hosszú távú folyamatos üzem mellett a teljesítmény fokozatosan csökken, a tervezési alapelvek közé tartozik a szakaszos üzemeltetés megfontolása, ahol az üzemem kívüli szakaszok biztosítják a hő utánpótlását a hőszonda környezetében.

Kulcsszavak: *DBHE, hőregenerálás, ciklikus működés, teljesítménynövelés, optimalizálás*

Introduction

The rate of formation heat drainage around deep borehole heat exchangers (DBHEs) under continuous circulation is influenced by several geological, structural and operational variables, including formation thermal properties, well geometry, inlet temperature and flow rate (Baracza and Pap, 2022), resulting heat performance to continuously decrease until thermal equilibrium is reached. Reaching equilibrium under constant rate circulation is possible due to heat source present at domain peripheral thus heat flow from domain to the wellbore, meaning that formation heat content replenishes

after circulation is stopped. To quantify additional energy available for production in further cycles, a numerical model is introduced in this study, capable of simulating DBHEs under several operation scenarios.

Model description

Models have been built using FlexPDE, a finite element simulation software from PDE Solutions Inc (2011) in homogenous domain, with a single well structure (production casing and tubing), using the following parameters:

Table 1. Sub geometry dimensions with thermodynamic properties

| SUB GEOMETRY | R [m] | Z [m] | k [W/mK] | Cp [J/kgK] | rho [kg/m ³] |
|--------------|-------|--------|----------|------------|--------------------------|
| Domain | 50 | 1707+R | 1.79 | 960 | 2100 |
| Casing | 0.085 | 1707 | 54 | 490 | 7850 |
| Annulus | 0.075 | 1707 | 0.6 | 4200 | 1000 |
| Tubing | 0.040 | 1707 | 54 | 490 | 7850 |
| String | 0.030 | 1707 | 0.6 | 4200 | 1000 |

If the temperature linearly increases through the z-axis, the temperature distribution can be expressed as:

$$T(z) = T_0 + T_{grad} \quad (1)$$

where T_0 is the surface temperature and T_{grad} is the geothermal gradient. The heat content q is given by:

$$q = \rho c \int_V T(z) dV \quad (2)$$

For a cylindrical domain with radius R and depth L , the differential volume element in cylindrical coordinates is $dV = r dr d\theta dz$. Thus, integral becomes:

$$q = \rho c \int_0^L \int_0^{2\pi} \int_r^R (T_0 + T_{grad}z) r dr d\theta dz \quad (3)$$

If we break down the integrals:

Integrate R component: $\int_r^R r dr = \left[\frac{R^2}{2} \right]_r^R = \frac{R^2}{2} - \frac{r^2}{2}$ (4)

Integrate θ component: $\int_0^{2\pi} d\theta = 2\pi$ (5)

Integrate Z component: $\int_0^L (T_0 + T_{grad}z) dz = \int_0^L T_0 dz + \int_0^L T_{grad}z dz$ (6)

We can evaluate each part of eq. 6. by:

$$\int_0^L T_0 dz = T_0 [Z]_0^L = T_0 L \quad (7)$$

$$\int_0^L T_{grad} z \, dz = T_{grad} \left[\frac{z^2}{2} \right]_0^L = T_{grad} \frac{L^2}{2} \quad (8)$$

If we combine the results:

$$\int_0^L (T_0 + T_{grad} z) \, dz = T_0 L + T_{grad} \frac{L^2}{2} \quad (9)$$

$$q = \rho c \left(\frac{R^2 - r^2}{2} \right) 2\pi (T_0 L + T_{grad} \frac{L^2}{2}) \quad (10)$$

The final form of the integral equation:

$$q = \rho c \pi L (R^2 - r^2) (T_0 + T_{grad} \frac{L}{2}) \quad (11)$$

According to Table 1., additional volume below the well structure was added to the model as a buffer, which means that heat content is calculated with eq. 11. without r^2 . Fluid flow velocities are calculated from the flow rate, which is equal both in the annular and inner pipes:

$$A_1(-v_o) + A_2 v_i = 0 \quad (12)$$

A_1 and A_2 are annular and string cross sections, respectively. String velocity v_i and annular velocity v_o are calculated as:

$$v_i = \frac{Q}{3600} IR_{tbg}^2 \pi \quad (13)$$

$$v_o = -v_i \frac{IR_{tbg}^2}{IR_{csg}^2 - OR_{tbg}^2} \quad (14)$$

According to eq. 1., we assume that the temperature is uniform along the horizontal axis, even in the fluid columns in the well. While circulation invokes unstable conditions resulting temperature drop around the wellbore, full integral of eq. 3 needs to be evaluated for each timestep to get heat content of the formation. If we consider the domain as a finite volume, the energy balance:

$$q_{in} - q_{out} + q_{gen} = q_{steady} \quad (15)$$

which is valid for any control volume inside the domain. If we substitute a control volume (dx , dy and dz) into eq. 15.:

$$qx - q(x + dx) + qy - q(y - dy) + qz - q(z + dz) + q_{gen} = q_{steady} \quad (16)$$

We can explain heat flowing in each direction as:

$$qx = q''_x A_x = q''_x dy dz \quad (17)$$

$$q_y = q''_y A_y = q''_y dx dz \quad (18)$$

$$q_z = q''_z A_z = q''_z dx dy \quad (19)$$

If we substitute eq. 17.-19. to eq. 16., then divide with $dx dy dz$, we get the following formula for $dx; dy; dz \rightarrow 0$:

$$-\frac{\partial q''_x}{\partial x} - \frac{\partial q''_y}{\partial y} - \frac{\partial q''_z}{\partial z} + \dot{q} = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (20)$$

If we apply Fourier's law:

$$q''_x = -k \frac{\partial T}{\partial x}; q''_y = -k \frac{\partial T}{\partial y}; q''_z = -k \frac{\partial T}{\partial z} \quad (21)$$

We get the general heat equation for cartesian coordinates:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (22)$$

As the introduced model has no internal heat source, we can neglect \dot{q} . While unstable conditions are raised during circulation (where $q \neq 0$), a convective coefficient is added to the right side of the formula (Templeton et al, 2014):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho_f C_{p_f} V_z \frac{\partial T}{\partial z} \quad (23)$$

We can express the eq. 23. in cylindrical coordinates as:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(kr \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho_f C_{p_f} V_z \frac{\partial T}{\partial z} \quad (24)$$

In order to reduce number of nodes and to provide better visualization, vertical scaling factor Z_{scale} was introduced, therefore a slight modification of eq. 24. gave the final heat equation for the models:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{kr \frac{\partial T}{\partial r}}{Z_{scale}} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} Z_{scale} \right) = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho_f C_{p_f} V_z \frac{\partial T}{\partial z} \quad (25)$$

Temperature average of annular bottom fluid cells are forced to be equal with string bottom fluid cells. Produced heat content is calculated from the temperature difference of the outlet and inlet:

$$Q = m \cdot C_{p_f} \cdot dT \quad (26)$$

where m is the mass flow rate of the working fluid. Formation heat loss is calculated from subtracting zero-time heat content (eq. 3.) and formation heat content at any timestep, where formation heat loss do not match with the amount of heat produced, even in models without heat source at boundary. The slight difference is accounted to the heat stored by the fluid columns and the pipe materials:

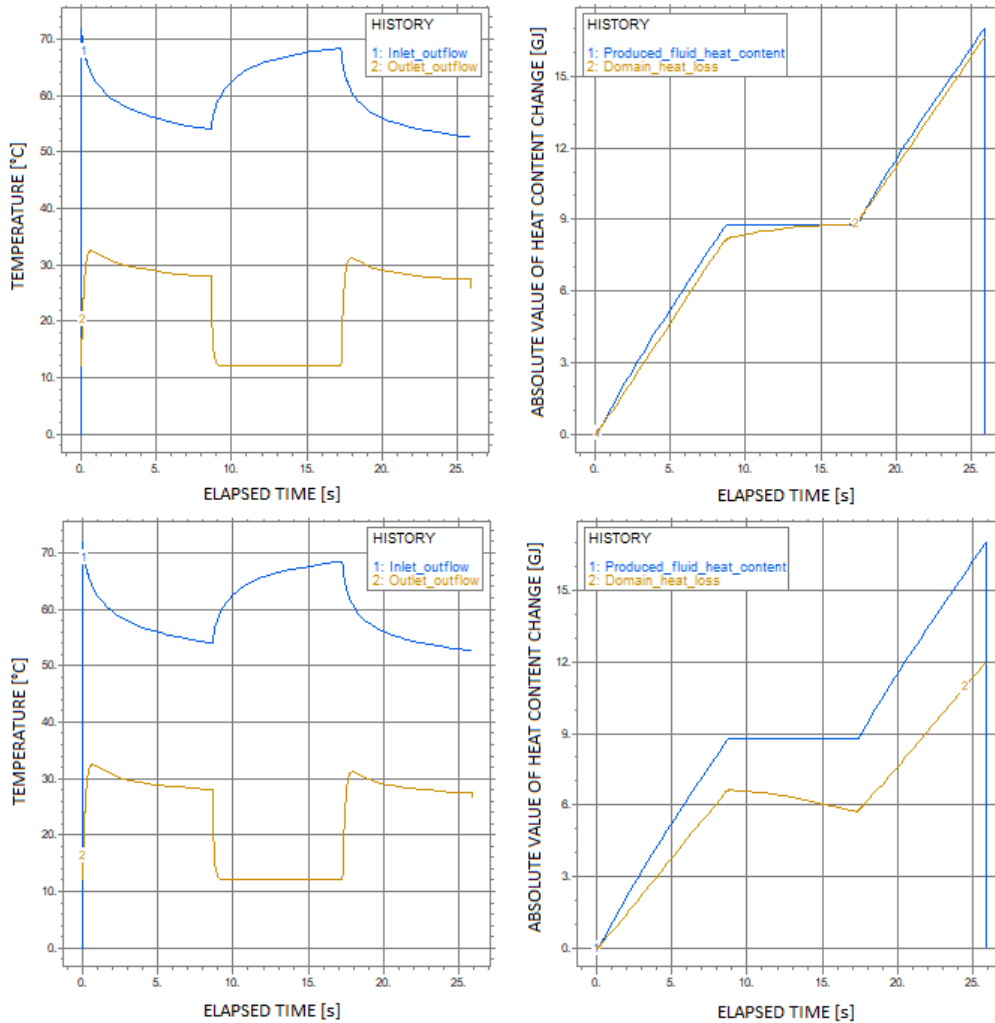


Fig. 1. Bottom and outlet fluid temperature for simulations with 2 active cycles (86 400s). Right plots represent produced fluid heat content and formation heat loss without peripheral heat source [top] and with peripheral heat source [bottom]

Simulations and results

We ran multiple simulations, with 2, 10 and 50 m model radius, on several flow rates (5, 10, 15 and 20 m³/h) with continuous and cyclic operation. Inlet and surface temperature was set to 12 °C, with 35 °C/km vertical thermal gradient. Total heat content, according to eq. 11.:

Table 2. Total formation heat content, calculated with 12°C null-point temperature

| Model radius [m] | Total heat content [TJ] |
|------------------|-------------------------|
| 2 | 1,329 |
| 10 | 33,434 |
| 50 | 855,383 |

Simulation time was set to 1 728 000 s (20 days), where models with cyclic operation started with an active phase (1d-1d). Wellhead fluid temperature was monitored, wherefrom total produced heat was calculated.

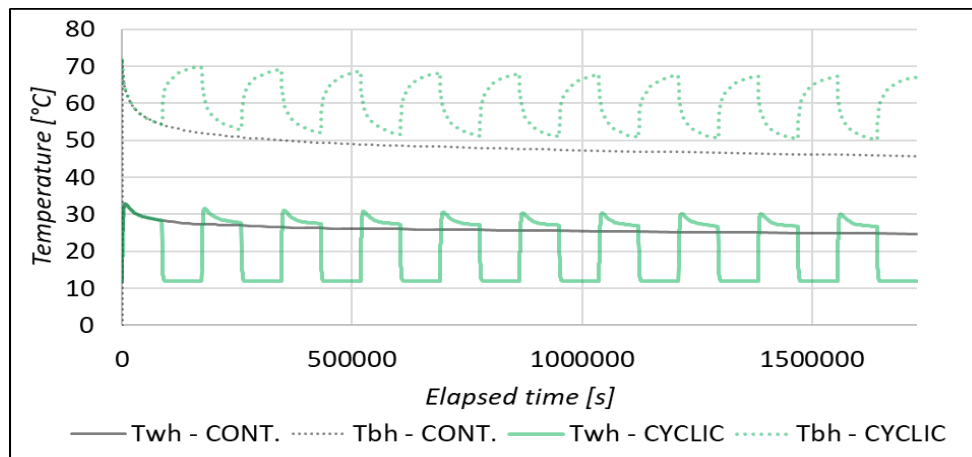


Figure 2. Bottom and outlet fluid temperature comparison of continuous and cyclic operation ($Q=5 \text{ m}^3/\text{h}$, $R_{\text{domain}} = 50 \text{ m}$, no heat source at model boundary)

After each passive cycle, significant replenishment of bottom hole temperature was observed, which provides extra heat to be produced for further cycles. Averaging wellhead temperature values on the curve for each active cycle for both models and then calculate produced heat, we can compare efficiency of each model.

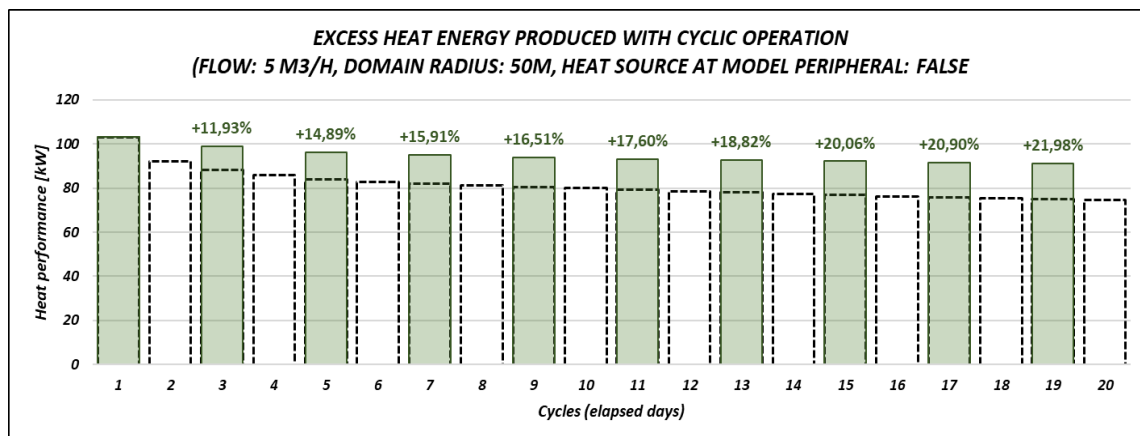


Figure 3. Additional DBHE performance on each cycle, compared to values of continuous operation with 5 m³/h flow rate, assuming no heat source at model boundary

As seen on Figure 3., performance of the BDHE dropped from 103.02 kW (1st cycle) to 74.46 kW (20th cycle). Intermittent operation on the same parameters resulted in 91.27 kW, meaning +21.98% performance excess, which is accounted to the heat replenishment around the wellbore. With simulations on higher flow rates, up to 69.61 kW (+48.83%) additional energy is available on 20 m³/h rate.

| WELLHEAD TEMPERATURE EXCESS AT 10TH CYCLE [°C] | | | | | |
|--|-------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| MODEL RADIUS | HEAT SOURCE | FLOW RATE | | | |
| | | 5 m ³ /h | 10 m ³ /h | 15 m ³ /h | 20 m ³ /h |
| 50 m | TRUE | 1,62 | 1,84 | 1,49 | 1,60 |
| | FALSE | 1,90 | 1,81 | 1,38 | 1,44 |
| 10 m | TRUE | 1,92 | 1,78 | 1,36 | 1,32 |
| | FALSE | 1,64 | 1,80 | 1,41 | 1,45 |
| 2 m | TRUE | 1,63 | 1,90 | 1,46 | 1,24 |
| | FALSE | 1,67 | 1,82 | 1,38 | 1,47 |

| BOTTOMHOLE TEMPERATURE EXCESS AT 10TH CYCLE [°C] | | | | | |
|--|-------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| MODEL RADIUS | HEAT SOURCE | FLOW RATE | | | |
| | | 5 m ³ /h | 10 m ³ /h | 15 m ³ /h | 20 m ³ /h |
| 50 m | TRUE | 3,86 | 3,39 | 2,40 | 1,85 |
| | FALSE | 4,23 | 3,36 | 2,39 | 1,85 |
| 10 m | TRUE | 4,24 | 3,34 | 2,38 | 1,89 |
| | FALSE | 3,94 | 3,37 | 2,37 | 1,85 |
| 2 m | TRUE | 4,06 | 3,54 | 2,48 | 1,90 |
| | FALSE | 4,06 | 3,46 | 2,45 | 1,92 |

| PERFORMANCE EXCESS AT 10th CYCLE [kW] | | | | | |
|---------------------------------------|-------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| MODEL RADIUS | HEAT SOURCE | FLOW RATE | | | |
| | | 5 m ³ /h | 10 m ³ /h | 15 m ³ /h | 20 m ³ /h |
| 50 m | TRUE | 14,53 | 43,45 | 59,88 | 69,61 |
| | FALSE | 16,45 | 43,23 | 57,84 | 67,58 |
| 10 m | TRUE | 16,31 | 42,86 | 57,52 | 68,22 |
| | FALSE | 14,77 | 42,87 | 58,41 | 68,48 |
| 2 m | TRUE | 15,31 | 43,22 | 58,80 | 62,96 |
| | FALSE | 15,17 | 42,88 | 57,96 | 68,87 |

| PERFORMANCE EXCESS AT 10TH CYCLE [%] | | | | | |
|--------------------------------------|-------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| MODEL RADIUS | HEAT SOURCE | FLOW RATE | | | |
| | | 5 m ³ /h | 10 m ³ /h | 15 m ³ /h | 20 m ³ /h |
| 50 m | TRUE | 18,99% | 36,47% | 44,24% | 48,83% |
| | FALSE | 21,98% | 36,24% | 42,12% | 46,61% |
| 10 m | TRUE | 21,86% | 35,89% | 41,94% | 47,54% |
| | FALSE | 19,43% | 35,90% | 42,74% | 47,40% |
| 2 m | TRUE | 20,22% | 36,84% | 44,15% | 43,21% |
| | FALSE | 20,12% | 36,59% | 43,59% | 49,52% |

Figure 4. Summary comparison of excess wellhead temperature [top left], bottomhole temperature [top right], and performance [bottom] for each simulation with cyclic operation

Conclusion

We have developed a numerical model in FlexPDE environment to simulate circulation in deep borehole heat exchangers, where heat performance and formation heat loss were calculated. While simulations with continuous flow constantly drains heat around the wellbore, considerable performance excess can be reached with cyclic operation, even on lower flow rates due to the replenishment of temperature around the wellbore.

References

- C. Alimonti, E. Soldo, D. Bocchetti, D. Berardi: The wellbore heat exchangers (2018): A technical review (2018) - Renewable Energy 123 353-381, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.055>
- Krisztián Mátyás Baracza, József Pap (2022): Performance analysis of closed loop borehole heat exchangers with numerical simulations - XVI. Nemzetközi Tudományos Konferencia a Kárpát-medence Ásványvizeiről - Kassa, Szlovákia: Institute of Geosciences, Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnologies, Technical university of Košice 107 p. pp. 1-6., 6 p.
- PDE Solutions Inc. (2011): FlexPDE 6: PDE Solutions Inc.

- J.D. Templeton, S.A. Ghoreishi-Madiseh, F. Hassani, M.J. Al-Khawaja (2014): Abandoned petroleum wells as sustainable sources of geothermal energy - Energy 70 (2014) 366-373, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.04.006>
- Aniko N. Toth, Peter Szucs, Jozsef Pap, Attila Nyikos, David K. Fenerty (2018): Converting Abandoned Hungarian Oil and Gas wells into Geothermal Sources - PROCEEDINGS, 43rd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering - Stanford University, Stanford, California, SGP-TR-213.

ASSESSMENT OF CLIMATE CHANGE IMPACT ON SPRING DISCHARGE BY A COMBINED STOCHASTIC-ANALYTICAL METHOD, AGGTELEK KARST AREA, HUNGARY

AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS FORRÁSHOZAMOKRA GYAKOROLT HATÁSÁNAK ÉRTÉKELÉSE EGY ÚJ, KOMBINÁLT SZTOCHASZTIKUS-ANALITIKUS MÓDSZERREL A JÓSVÁ-FORRÁS PÉLDÁJÁN, AGGTELEKI-KARSZT, MAGYARORSZÁG

Kovács Attila^{1,2,*}, Ilyés Csaba^{1,2}, Szűcs Péter^{1,2}

¹Miskolci Egyetem, Víz- és Környezetgazdálkodás Intézet, 3515 Miskolc-Egyetemváros

²Víz tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Labor, 3515 Miskolc-Egyetemváros

*e-mail: attila.geo.kovacs@gmail.com

Összefoglaló

Ez a tanulmány egy új módszert mutat be a forráshidrogramok előrejelzésére regionális klímamodell-projekciók segítségével. A cél az éghajlatváltozás forráshozamokra gyakorolt hatásának értékelése. Egy új, sztochasztikus-analitikus modellezési megközelítést fejlesztettünk ki, amelyet az Aggteleki-karszton található Jósva-forrás vízgyűjtőjén mutatunk be. Az archiv adatokat felhasználtuk a csapadék és a vízhozam csúcsok közötti regressziós függvény meghatározásához. Az alaphozamot két komponensű exponenciális modell segítségével vizsgáltuk, ahol a hidrogram dekompozícióját és a paraméterek illesztését az alaphozam mestergörbén végeztük el. A forráshozam előrejelzéseket két kiválasztott regionális klímamodell-szenárió csapadék időszora alapján végeztük el. Mindkét szimulált forgatókönyv csökkenő alaphozamot jelez a 21. század különböző időszakában. Az eredmények azt sugallják, hogy az éghajlatváltozás valószínűleg fokozza a szélsőségeket a következő évtizedekben, függetlenül attól, hogy mérsékelt vagy pesszimista klíma forgatókönyveket vizsgálunk.

Kulcsszavak: forráshidrogram, sztochasztikus modell, analitikus modell, klímaváltozás

Abstract

This study presents a methodology for predicting spring hydrographs using regional climate model projections, with the goal of assessing the impact of climate change on spring discharge. A stochastic-analytical modelling approach was developed and applied to the Jósva Spring Catchment in the Aggtelek Karst, Hungary.

Historical data was analyzed to establish a regression function between rainfall and peak discharge. Baseflow recession was examined using a double-component exponential model, with hydrograph decomposition and parameter fitting conducted on the master recession curve. Future spring discharge time series were predicted using rainfall data from two selected regional climate model scenarios.

The simulated scenarios indicate a decrease in baseflow discharges during various periods of the 21st century. The results suggest that climate change will likely amplify extreme events in the coming decades, for both investigated CO₂ emission scenarios.

Keywords: spring hydrograph, stochastic model, analytical model, climate change

Introduction

Karst aquifers play a crucial role in supplying water. However, extended dry periods can lead to a decrease or even cessation of spring discharge, thereby jeopardizing the continuity of water supply that relies on karst water. Flash floods caused by unexpected surges of spring water can endanger infrastructure and human lives. Moreover, bacterial epidemics can occur due to the rapid transport of contaminants through karst conduits during flood events.

Climate change projections of the IPCC indicate that there will be notable temperature increases and changes in precipitation patterns throughout the remainder of the 21st century (Le Treut 2007). These alterations potentially lead to extreme events (Seneviratne et al. 2012). As such, it's evident that climate change has direct consequences for water supplies reliant on karsts springs.

The main objective behind this paper is to present a methodology for predicting spring discharge time series based on regional climate model projections. A combined stochastic-analytical modelling approach was developed for this purpose. The proposed methodology will be demonstrated using data from the Jósua Spring Catchment located within Hungary's Aggtelek Karst Area.

Methodology

Although there is a reasonable correlation between daily rainfall and discharge peaks, there isn't sufficient correlation with spring baseflow. This discrepancy is due to the physical functioning and dual hydraulic behaviour of karst systems. While flood discharges can be estimated using regression functions between rainfall and discharge values, describing baseflow discharges requires applying physics-based analytical functions.

Kovács and Stevanovic (2023) developed a novel combined stochastic-analytical method for characterizing spring hydrographs based on measured daily rainfall data. This method involves establishing regression functions between rainfall and flood discharges as well as simulating flood discharges based on future predicted rainfalls by regional climate models. The baseflow component of spring discharge was simulated using two-dimensional analytical solutions introduced by Kovács (2003), Kovács et al. (2005), Kovács and Perrochet (2008). Fitting parameters were calibrated based on historical records of both rainfalls and discharges. The method is suitable for climate impact assessment at sites with limited climate data (only rainfall data available).

The EURO-CORDEX ensemble was used to apply climate model projections to assess different scenarios, specifically the Representative Concentration Pathway scenarios (Jacob et al. 2013) RCP4.5 and RCP8.5, which involve additional radiative forcing values in 2100 compared to pre-industrial levels: 4.5 W/m² and 8.5 W/m² respectively. Table 1. Provides a list of the selected climate model ensemble projections. Bias-corrected rainfall data was applied in this study.

Table 1. Investigated regional climate model projections.

| GCM | RCM | Scenario | Scenario Number |
|-----------------------|-----------|----------|-----------------|
| CNRM-CERFACS-CNRM-CM5 | SMHI-RCA4 | RCP85 | 1 |
| IPSL-IPSL-CM5A-MR | SMHI-RCA4 | RCP45 | 2 |

Test site

The Aggtelek Karst, located along the Hungarian-Slovakian border, is a part of the Western Carpathian Mountain Range. The main mass of the Aggtelek Karst is made up of sedimentary rocks from the Triassic period. The lower-Triassic layers mainly consist of aquicludes such as clay-slates and sandstones, covering an area of 62 square kilometers. The middle and upper-Triassic sediments are well karstified limestones and dolomites that extend over an area of 105 square kilometers.

The Jósva spring is the Country's Largest Cold Water spring, located just West of the village of Jósvalő.



Fig. 1. Hydrological objects in the catchment area of Baradla–Domica cave system (Gruber et al., 2022)

Its catchment area of the spring is approximately 34 km². Part of it is only temporarily active, as the karst is covered. The discharge of the Jósva Spring system fluctuates between 70 l/s and 8000 l/s but reached 20,000 l/s in August 1955. The temperature of their water is around 10°C.

Simulating discharge peaks by regression analysis

Discharge peaks were simulated using classical regression analysis. The highest correlation could be observed between two-day cumulative rainfall and peak discharge:

$$Q_{max} = 0.1789 + 0.0655 \cdot p_{cumul} \quad (1)$$

Where Q_{max} is peak discharge (m^3/s), and p_{cumul_2} is two-day cumulative rainfall (mm). The summary statistics of the regression function indicates a statistically significant relationship between Q_{max} and p_{cumul_2} at the 95.0% confidence level.

Simulating baseflow by analytical model

The baseflow of karst springs is derived from the diffusive emptying of low-permeability matrix blocks (Kovács 2003). Since the recession process is delayed compared to rainfall, traditional regression functions between rainfall and discharge cannot accurately describe it. Instead, analytical models can be used to characterize baseflow. To develop a simple yet effective mathematical formula for describing baseflow at the Jósva Spring, a Master Recession Curve (MRC) was created using available discharge data.

Based on curve fitting and decomposition of the MRC of the Jósva hydrograph, baseflow recession can be mathematically described using the following formula:

$$Q_{(t)} = Q_{inf}e^{-0.002t} + Q_{inf}e^{-0.05t} \quad (2)$$

where Q_{inf} is the inflexion point discharge calculated from discharge data using the regression function:

$$Q_{inf} = 0.251 + 0.0762 \ln Q_{peak} \quad (3)$$

According to the combined model, the complete hydrographs were estimated making use of the regression function and the above simplified analytical solution.

A statistical comparison between measured discharge and applied models provides a statistically good estimate of the measured data (Figure 2.).

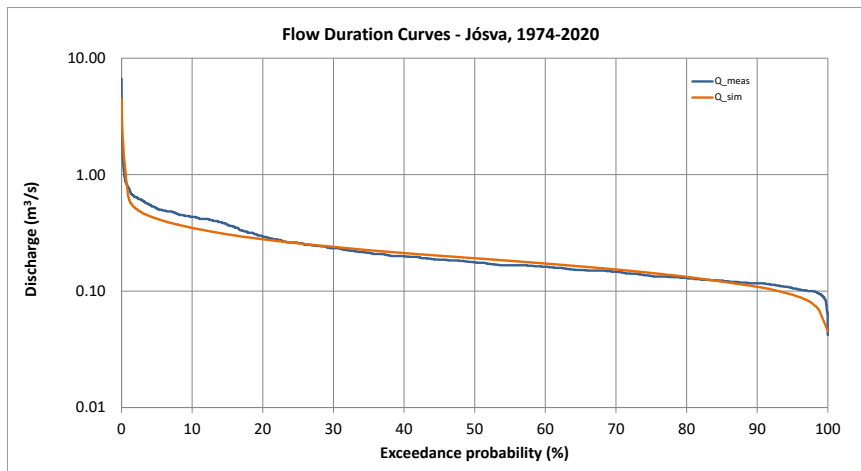


Fig. 2. Comparison of Flow Duration Curves of the measured and simulated spring hydrographs.

Discharge predictions

The primary goal of this study was to provide spring discharge predictions based on RCM projections to evaluate climate change impact on spring discharge. Predictive modelling was undertaken for two 40-year periods including 2021-2060 and 2061-2100. We applied the bias-corrected combined stochastic-analytical model to calculate future spring discharge from RCM simulated rainfall data.

The predicted spring hydrographs derived from Scenario 1 and Scenarios 2 RCM's are indicated in Figure 3. Flow duration curves for the 2021-2060 period are indicated in Figure 4.

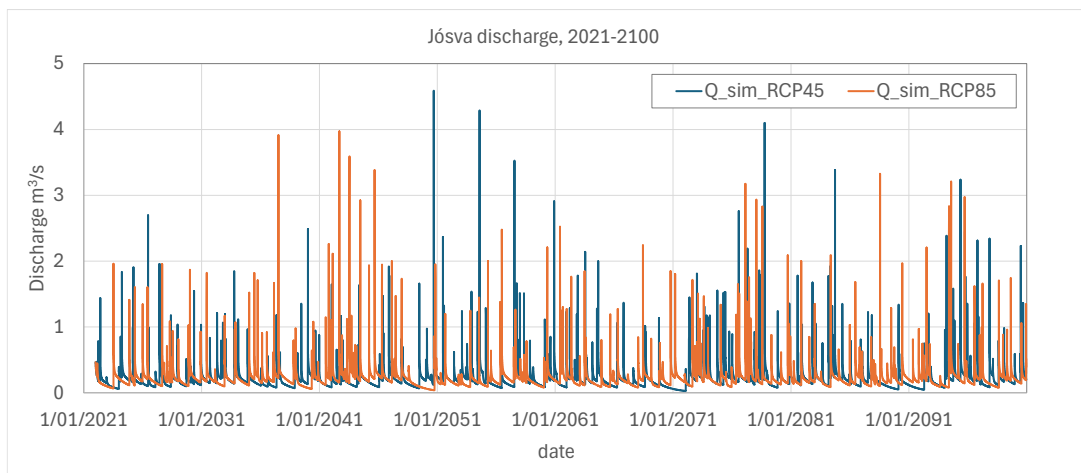


Fig. 3. Spring hydrograph forecasts for the 2021-2100 period based on RCM's.

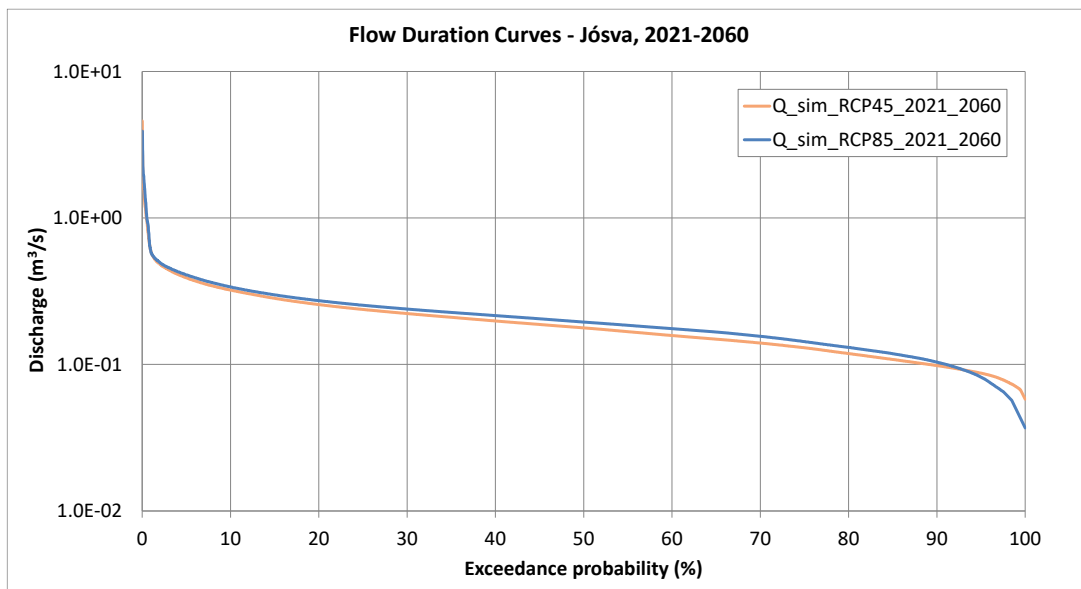


Fig. 4. Flow duration curves of spring discharge forecasts for the 2021-2060 period based on RCM's. Bias-corrected combined stochastic-analytical model was applied.

The predicted spring hydrographs derived from the Scenario 1 and Scenarios 2 RCM's for the 2061-2100 period are indicated in Figure 3. Flow duration curves are indicated in Figure 5.

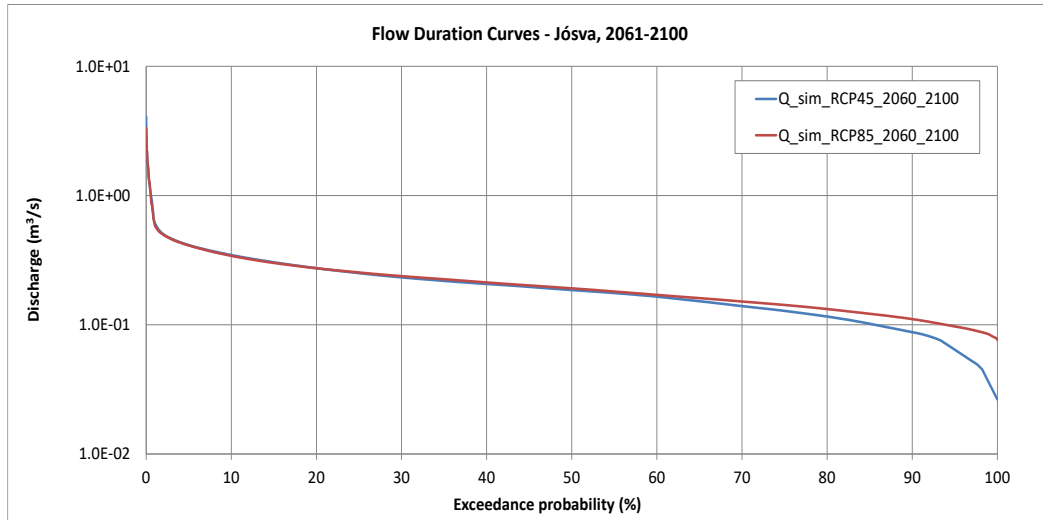


Fig. 5. Flow duration curves of spring discharge forecasts for the 2061-2100 period based on RCM's. Bias-corrected combined stochastic-analytical model was applied.

Discussion

The summary statistics of Scenario 1 predictive models indicate that:

- Peak discharge considerably increases during the first half of the 21st century and decreases afterwards, but remains higher than projected for the present;
- Average discharge remains stagnant during the 21st century;
- Baseflow discharge decreases significantly during the second half of the 21st century.

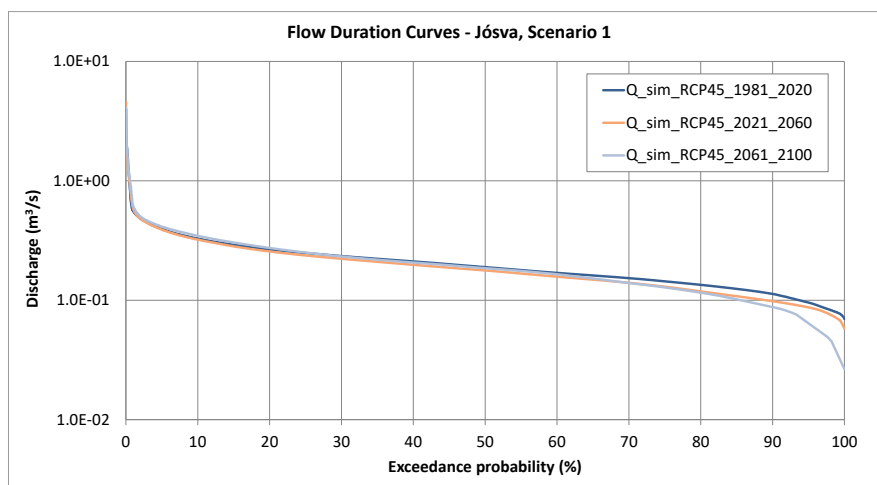


Fig. 6. Flow duration curves of spring discharge forecasts for the 1981-2020, 2021-2060 ad 2061-2100 periods based on Scenario 1 RCM projection

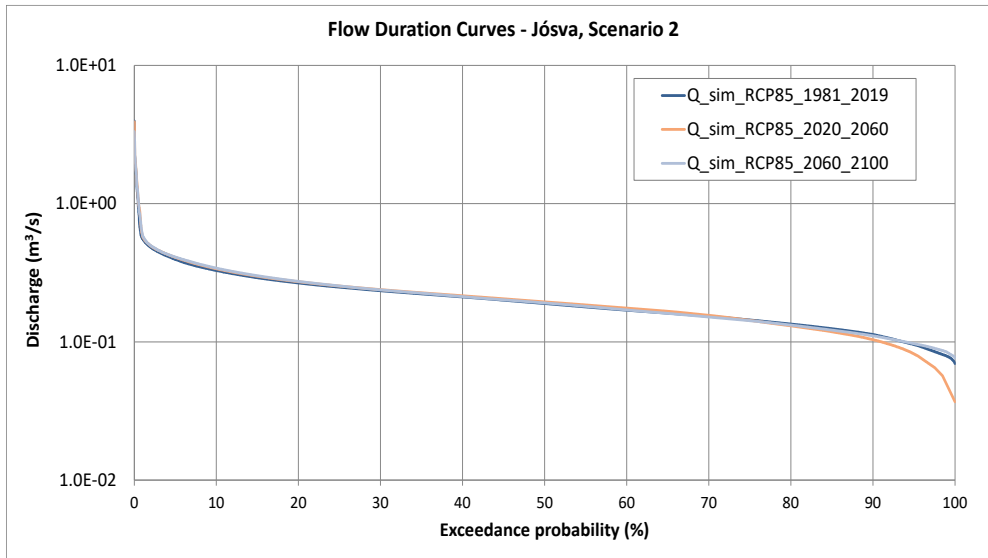


Fig. 7. Flow duration curves of spring discharge forecasts for the 1981-2020, 2021-2060 and 2061-2100 periods based on Scenario 2 RCM projection.

Extreme events

To investigate the temporal evolution of spring discharge throughout the prediction period, the annual numbers of flood and drought days were calculated and visualized. Flood condition was defined by discharge exceeding $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$, whereas drought was defined by discharge values below $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$. Figure 8. indicates the annual flood and drought days for predictive Scenario 1. Figure 9 indicates the annual flood and drought days for predictive Scenario 2.

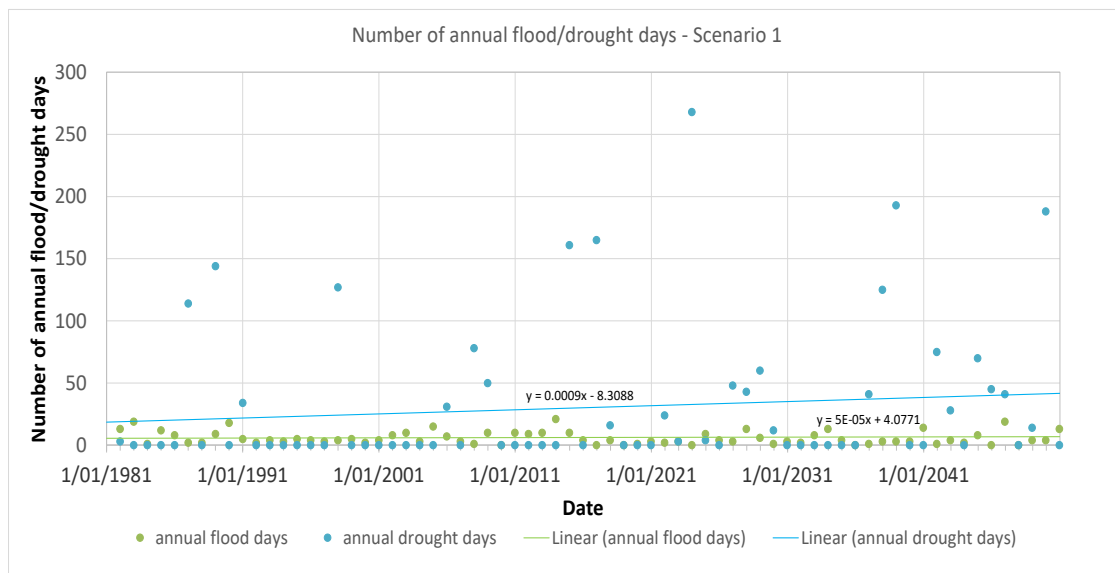


Fig. 8. Forecasted annual flood and drought days for predictive Scenario 1.

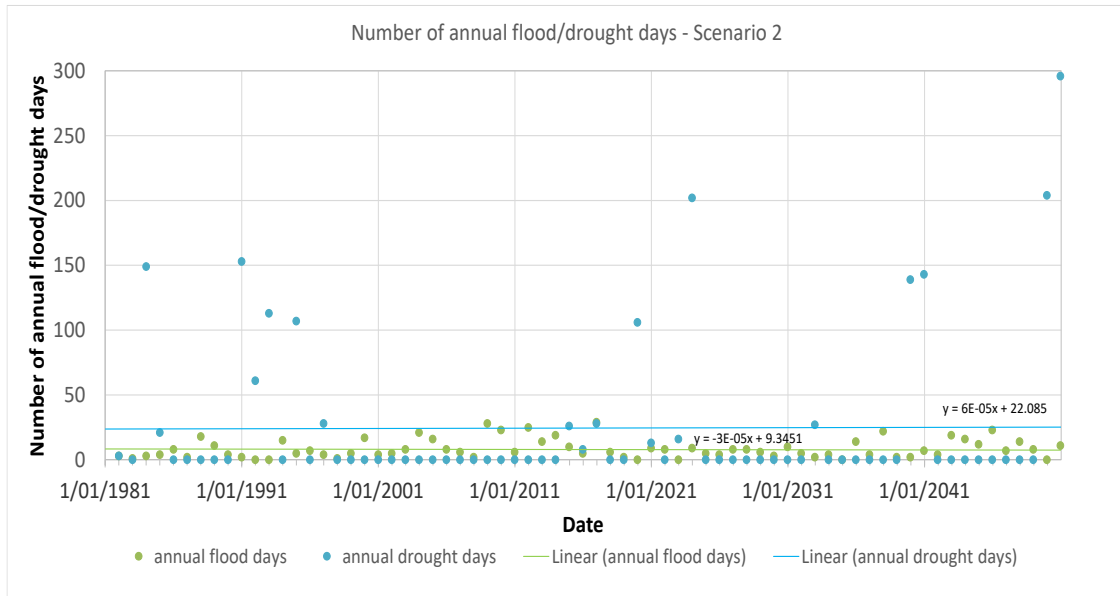


Fig. 9. Forecasted annual flood and drought days for predictive Scenario 2.

Conclusions

By the integration of scenario model results, we can summarize the following:

- Peak discharge is predicted to increase during the first half of the 21st century and is predicted to drop by the end of the 21st century according to both scenarios;
- Average discharge is predicted to remain unchanged according to both scenarios;
- Both scenarios predict the decrease in baseflow discharge during the simulation period, although the timing of this drop is different: While Scenario 1 predicts dropping baseflow discharge during the first half of the century, Scenario 2 predicts dropping baseflow for the second half of the century.
- The annual number of flood days shows little variation and no significant trend over the simulation period.
- The annual number of drought days shows an increasing trend over time. At the same time, the annual number of drought days shows a large variation over time.
- There seems to be a periodicity of extremely dry years with a period between 6 and 9 years.
- The number of drought days during extremely dry years increases over the simulated period according to both investigated scenarios.

Model results confirm the general observation that climate change is likely to exaggerate the extremities in terms of spring discharge by the end of the century both for moderate and pessimistic CO₂ emission scenarios. This mostly manifests in the increasing number of annual drought days. Multi-annual variations seem to play an important role in the occurrence of extreme events.

The applied combined stochastic-analytical methodology is suitable for simulating the temporal distribution and magnitude of discharge peaks. It provides a physics-based

description of baseflow recession, making it an effective tool for climate-impact studies in karst regions.

Funding

The publication of this article was carried out within the framework of the Széchenyi Plan Plus program, with the support of the RRF 2.3.1 21 2022 00008 project.

References

- Boussinesq J. (1904): Recherches théoriques sur l'écoulement des nappes d'eau infiltrées dans le sol et sur le débit des sources. *Journal de mathématiques pures et appliquées*, 10, 5–78.
- Forkasiewicz J, Paloc H. (1967): Le régime de tarissement de la Foux-de-la-Vis. Etude préliminaire. *Chronique d'Hydrogéologie*, BRGM, vol. 3(10), 61-73.
- Gruber, P., Szunyogh, G., and Telbisz, T. (2022): The Caves of Aggtelek Karst, Szalonna Karst and Rudabánya Mountains. In: Veress, M, Leél-Óssy, Sz. (Eds.): *Cave and Karst Systems of Hungary*. Springer Nature Switzerland, ISSN 2364-4591.
- Jacob, D., et al. (2013): EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, Springer Berlin Heidelberg, 1–16.
- Kovács, A. (2013): Geometry and hydraulic parameters of karst aquifers: A hydrodynamic modelling approach. Ph.D. thesis, CHYN, University of Neuchatel, Switzerland. 131p. Available online at <http://doc.rero.ch/search.py?recid=2603andln=fr> 28.
- Kovács, A., Perrochet, P, Király, L. and Jeannin, P-Y. (2005): A quantitative method for the characterization of karst aquifers based on spring hydrograph analysis. *Journal of Hydrology*, Vol. 303, pp. 152-164.
- Kovács, A. and Perrochet, P. (2008): A quantitative approach to spring hydrograph decomposition. *Journal of Hydrology*, Vol. 352, pp. 16-29
- Kovács, A. and Perrochet, P. (2014): Well hydrograph analysis for the estimation of hydraulic and geometric parameters of karst aquifers. *Environmental Earth Sciences*, H2Karst Research in Limestone Hydrogeology, pp. 97-114. ISBN 978-3-319-06138-2.
- Kovács, A., Perrochet, P., Darabos, E., Lénárt, L., Szűcs, P. (2015): Well hydrograph analysis for the characterisation of flow dynamics and conduit network geometry in a karstic aquifer, Bükk Mountains, Hungary. *Journal of Hydrology*, 530, pp. 484-499.
- Kovacs, A. (2021): Quantitative classification of carbonate aquifers based on hydrodynamic behaviour. *Hydrogeology Journal*, 2021, 29 DOI: 10.1007/s10040-020-02285-w.
- Kovács, A.; Stevanovic, Z. (2023): A Combined Stochastic–Analytical Method for the Assessment of Climate Change Impact on Spring Discharge. *Water*, 15, 629. <https://doi.org/10.3390/w15040629>
- Le Treut H., et al. (2007): Historical Overview of Climate Change In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Maillet E. (1905): *Essais d'hydraulique souterraine et fluviale*. Hermann, Paris.
- Seneviratne, S.I. et al., (2012): Changes in climate extremes and their impacts on the naturalphysical environment. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C.B., et al. (eds.)]. A Special Report of Working

Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 109-230.

A BÜKKI TERMÁLKARST VÍZTEST (Kt.2.1) BÜKK-TÉRSÉGI RÉSZÉN LÉVŐ KUTAK ADATAINAK VIZSGÁLATA

ANALYSIS OF DATASETS ORIGINATING FROM BÜKK AREA BELONGING TO THE BÜKK THERMAL KARST WATER BODY (Kt.2.1)

Lénárt László¹, Miklós Rita²

^{1,2}Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar, Víz- és Környezetgazdálkodás Intézet 3515 Miskolc, Egyetemváros,

¹laszlo.lenart@uni-miskolc.hu, ²rita.miklos@uni-miskolc.hu

Összefoglaló

A 185 hazai, felszín alatti víztest közül 15 termálkarstos. A bükki HU_kt.2.1. (eocén és triász mészkőből, dolomitból, dolomitos mészkőből álló) termálkarstos víztest a maga 4.286 km²-es kiterjedésével 2. a hazai területarányos rangsorban (OVF). A Bükk nyíltkarstjaival vízföldtanilag közvetlen kapcsolatban álló Bükk-térségi részének kb. a fele tekinthető. A Bükk-térségi termálkarstos víztest-rész a 823 km²-nyi két bükki hidegkarstvíz testtel (HU_k.2.1 és k.2.3) határos, utánpótlását közvetlenül zömmel onnan kapja. Az utóbbi másfél évtizedben a Bükk tetőhelyzetében lévő figyelőkútban a vízszint jelentősen és tendenciózusan lecsökkent és ez a tendencia több figyelőkútban is megfigyelhető. Ennek okát/okait keressük mind a termálkarst víztestben, mind a hideg karstvíztestekben. Feltételezzük, hogy abban mind természetes, mint antropogén tényezők jelen lehetnek. A kutatásunkban a csapadékot, a hidegkarstvíz szintjeit, a víztermelést és a termálkarst kutak hőmérsékletét, a víznyomás függvényben a vízhozamot/termelési kapacitást vizsgáltuk. A kutatás pillanatnyi állása szerint valószínűsíthető, hogy az antropogén hatások az előzetesen becsültnél/elhanyagolhatónál jelentősebbek.

Kulcsszavak: Bükk, hideg karst, termál karst, vízszint, víztermelés

Abstract

From 185 subsurface water bodies 15 are thermal karst in Hungary. Bükk thermal karst water body (HU_kt.2.1) is built up from Eocene and Triassic age limestone, dolomitic limestone, and is in the 2nd place in terms of area in the ranking with its 4 286 km² area. In the Bükk region the part of the thermal karst water body borders the 823 km² cold karst water bodies of Bükk (HU_k.2.1 and k.2.3) and most of its recharge originates from the open karst area.

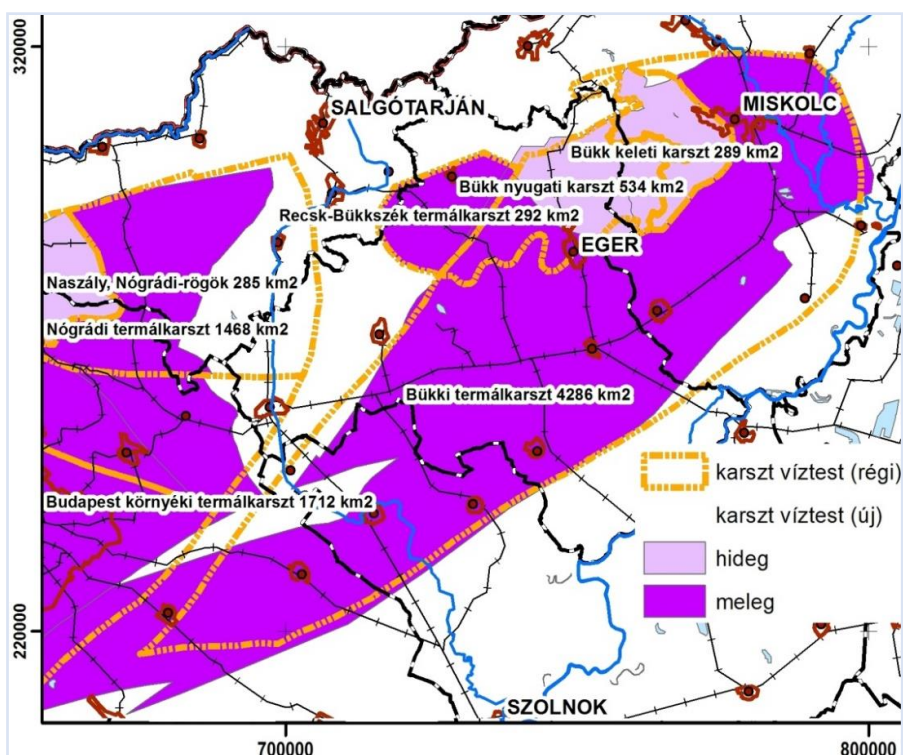
In the last and a half decade, the water level in the monitoring well located on the top of the Bükk has decreased significantly and with a tendency, and this trend can be observed in several monitoring wells. We are looking for the reason(s) for this in both thermal karst water bodies and cold karst water bodies. We assume that both natural and anthropogenic factors may be present in it. In our research, we analysed precipitation, measured cold karst water levels, water production and the temperature of thermal karst wells, as well as water yield/production capacity as a function of water pressure. According to the current state of the research, it is likely that the anthropogenic effects are more significant than previously estimated.

Keywords: Bükk, cold karst, thermal karst, water level, water production

Bevezetés

A Bükki termálkarszt víztest (HU kt.2.1) a kijelölése óta kissé megváltozott (részben a BKÉR által szolgáltatott adatok következtében), az 1. ábrán a legutolsó és az előtte lévő változatot is közöl-jük.

A langyos- és melegvízű források miatt (Dombi, 1766) már évszázadok óta ismert a Bükki ter-málkarszt. Fúrásokkal való feltárása 1870-ben kezdődött meg Egerben és a mai napig is tart csaknem a teljes a Bükk-térségben (Scheuer, 1971). Egerben 1926-ban létesítettek új kutat, ezt a Mezőköves-den fúrt követte, ahol egy meddő szénhidrogénkutató fúrás termálkarsztvizet hozott a felszínre 1939-ben. A II.



1. ábra A bükki karsztos víztestek (OVF adatok alapján Hernádi B., 2017)

Világháború után Miskolcon (1953), Sajóhídvégen (Köröm) (1953), Bogácson (1959) és Egerszalókon (1961), majd Andornaktályán (1962) mélyítettek termálkarsztkutakat, esetenként töb-bet is az adott területen az idő múlásával. Legújabban Demjénben (2006-2022), Arnóton (2008), Egerben (2017), Bócsön (2023) és Mályiban (2010-2024) készültek/készülnek termálkarsztkutak, az utóbbi létesítésének célja Miskolc távfűtésébe való bekapcsolódás volt. (Mályi esetében visszasajtoló kutak is létesültek Kistokajban, az első 2012-ben.) Ma összesen csaknem 60 db termálkarsztkút (zömmel termelőkút, de 3 nyelőkút és 3 figyelőkút) működik különböző intenzitással a Bükk-térségben. A legmélyebb 2421 m, mely Demjénben készült és 100 °C-os vizet hoz a felszínre. (A kutak egy kis része üzemén kívül van, de a pozitív kutak közül pl. a sajóhídvégi-körömi kút nincs elzárva, azaz felhasználás nélkül csökkenti a termálkarsztvíz készletet.)

A kútfúrásokból szerezhető információkat publikációkban is viszontláthatjuk (Lénárt 2005, 2008, 2010, 2024; Lénárt-Hernádi 2012; Lénárt-Szegediné 2012; Lénárt et al 2014, 2017; Miklós et al 2020, 2021; Miklós 2022; Miklós-Lénárt 2023; Szlabóczky 1974; Vetési-Foith et al 2022; Vitális 1966). Emellett a területről fellelhető vízföldtani naplókát és műszeres kútvizsgálati dokumentáció-kat is áttekintettük, a kiindulási adatokra erősen koncentrálva.

A vizsgált területen a legutolsó sikeres termálkarsztvíz feltárás 2023-ban történt (Demjén, 2421 m), de a pillanatnyilag mélyülő mályi ferde fúrás hasonló kút hosszát (de kisebb mélységet) céloz meg.

Jelen anyagban csak jelezzük, hogy a vizsgált területen voltak sikertelen termálkarsztvíz feltárások. Pl. az 1927-1929 között fúrt Pávai-Vajna féle – mára felelőtlenül törmelékkel járhatatlanná tett – fúrás Miskolc-Lillafüreden (Pávai 1929), a miskolctapolcai „sikertelennek nyilvánított” Hejő-kutatófúrás eltömedékelése 2018-ban (Lénárt 2018) stb.), ill. olyan CH-kutató fúrások, melyek az eocén-triász karbonátos összletekből termálkarsztvíz jelenlétét dokumentálták, de az nem lett kiaknázva.

A termálkarszt peremén fakadó, tucatnyi meleg-langyos és meleg forrás (amelyek zömmel ivó-vízellátásra vagy rekreációs célokra foglalt források, pl. a miskolctapolcai Tavasz-barlangban fakadó Termál-forrás (Vetési-Foith et al 2022) csaknem mindegyike pillanatnyilag különböző mértékig felhasználás alatt áll. Átmeneti rövidebb-hosszabb szüneteltetésük is előfordul (pl. Miskolc, Szent György-forrás). A kácsi meleg-langyos források az utóbbi évtizedekben ökológiai/természetvédelmi célokat szolgálnak (Lénárt 2023).

Megjegyzendő, hogy bár hivatalosan Magyarországon 30 °C a termálvíz alsó határa, jelen cikkben saját, javasolt beosztásunkat használjuk, mivel az a gyakorlati felhasználáshoz véleményünk szerint jobban illeszkedik (Lénárt 2005). A beosztás a 6a-6b-6c térképeken nyomon követhető.

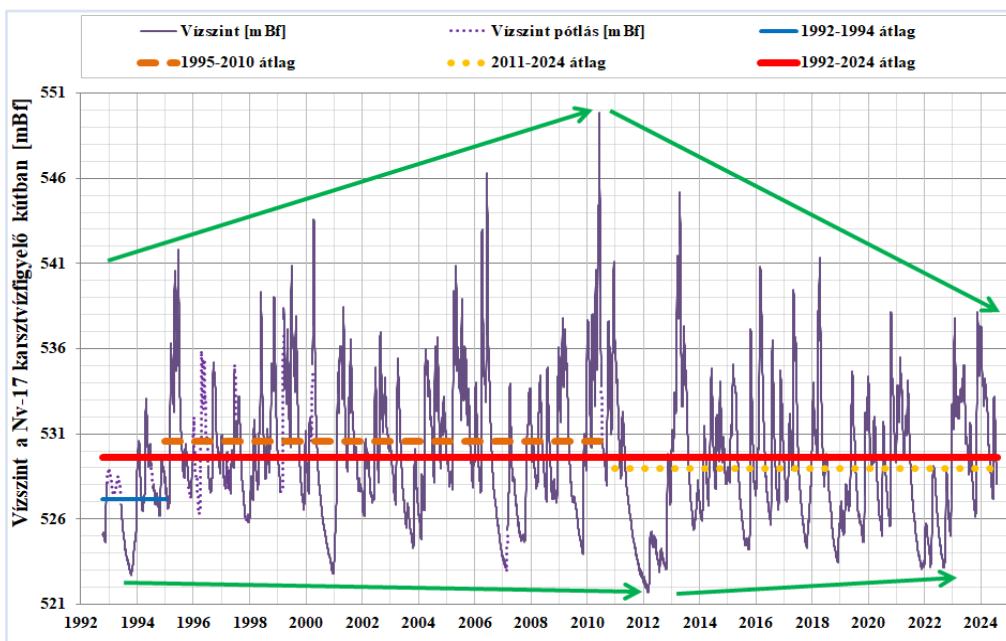
A Bükk-térségi termálkarsztvíz felhasználása egyre sokoldalúbb. Bár az alap a fürdési, rekreációs cél, emellett ivókúrákra, ivóvízellátásra és fűtésre is használják, s egyre erőteljesebb a kaszkád rendszerű felhasználás.

Anyag és módszer

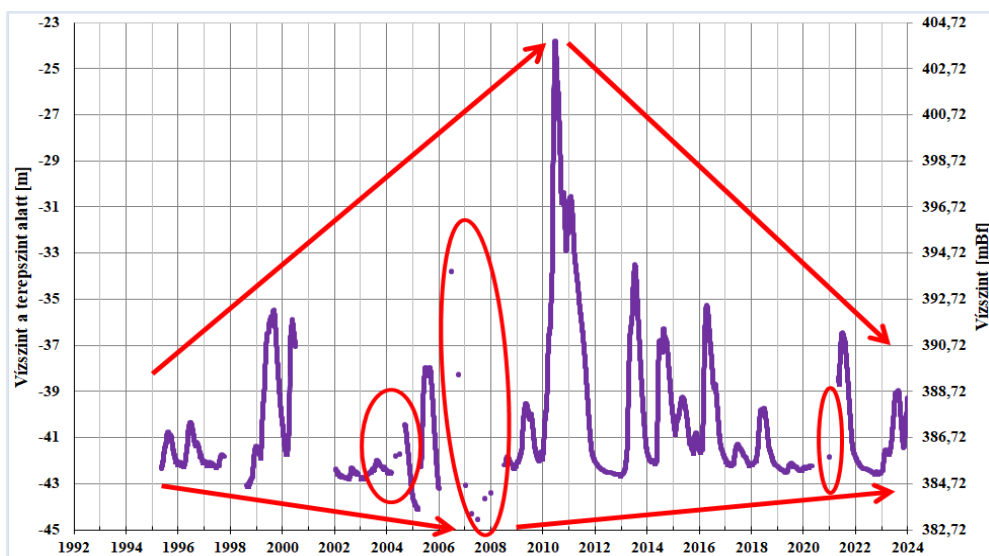
A 33 éve üzemelő Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR) legfontosabb, a bükki karszt-víz tetőhelyzetében lévő figyelő kutjában mért vízszintek változása indította el jelen vizsgálódásunkat (2. ábra). Jól látható, hogy 2010-től teljesen egyértelmű a vízszint tendenciózus csökkenése. Ki-derült, hogy ez a változás csaknem az összes mérési helyen kimutatható (az adathiányok ellenére), melyek közül hármat a (3a-3b-3c ábrákon) mutatunk be. (Hosszabb mérőműszer hibák esetében igyekeztünk legalább a pillanatnyi értékeket meghatározni s azokat a grafikonokon feltüntetni.)

A hidegkarsztvízszint vizsgálata után a csapadékviszonyokat vizsgáltuk meg. A BKÉR rendszer keretében (Lénárt 2024) 4 mérőhely adatait dolgozzuk fel (Jávorkút, Ómassa, Répáshuta, Bánkút), de a leghosszabb és legteljesebb a jávorkúti adatsor, ezért jelen cikkben csak azt vizsgáltuk. A (4a-4b ábrákon) az látszik, hogy 2010-2023 között az átlagos évi csapadék mennyisége – egy jelentősen magasabb 1995-2009-es időszak

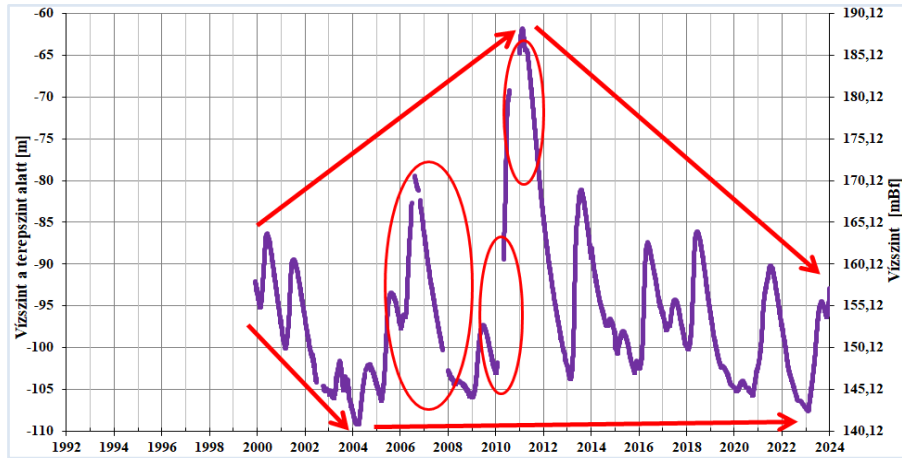
után – „visszacsként” az 1960-2023-as átlagértékre. Érdekes, hogy 2024. július végéig csaknem a jelzett átlagot elérő csapadék hullott. További érdekesség, hogy a július havi adatok is követik az éves adatok tendenciáját. Itt a 64 éves, igen jelentős maximum 2017-ben alakult ki, de ez nem okozott jelentős karsztvízszint emelkedést. Úgy tűnik, hogy a csapadékcsökkenés és vízszintcsökkenés között a feltételezhető kapcsolat fennáll, a kapcsolat szorossága közepes, elfogadható (4d. ábra).



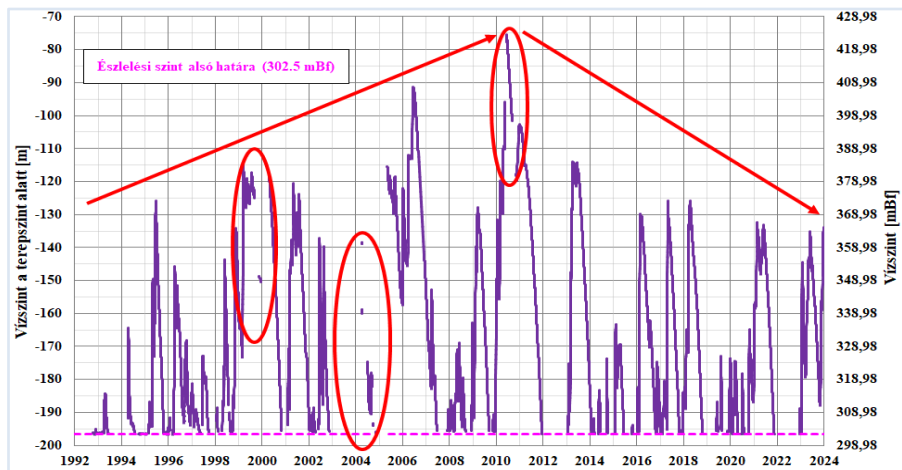
2. ábra „Csapadékhoz illeszkedő” vízszint szakaszok a Bükk hegység karsztvízdomborzatának tetőhelyzetében lévő Nv-17 figyelőkútban 1992-2024 között (BKÉR 2024)



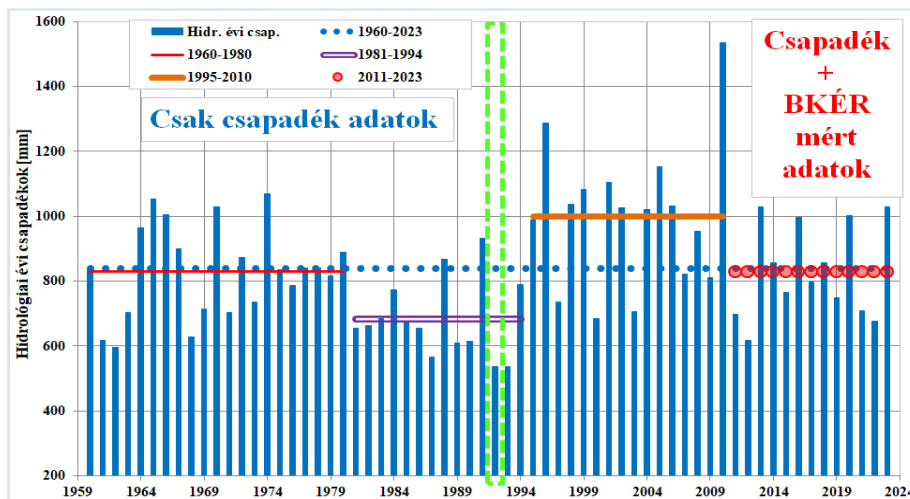
3a. ábra Bélapátfalva, 3/7 figyelőkút vízszintváltozás ((BKÉR 2024))



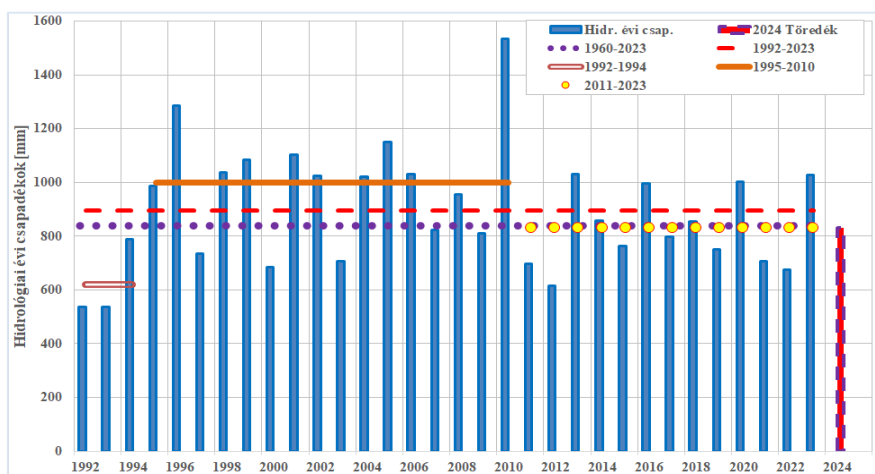
3b. ábra Kisgyőr, F2 figyelőkút vízszintváltozás (BKÉR 2024, Émvizig adatok alapján)



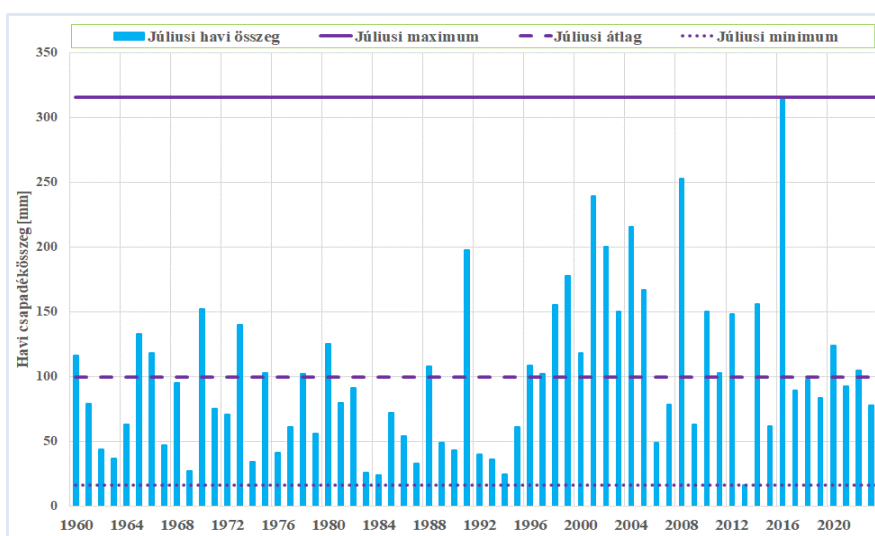
3c. ábra Répáshuta, Rh-1 (Tb-1) figyelőkút vízszintváltozás BKÉR 2024



4a. ábra Hidrológiai évi csapadék - szakaszonkénti csapadékátlagok 1960-2023 Jávorkút ((BKÉR 2024, Émvizig alapadatokból, adathiánykor kiegészítésként Bánkút))



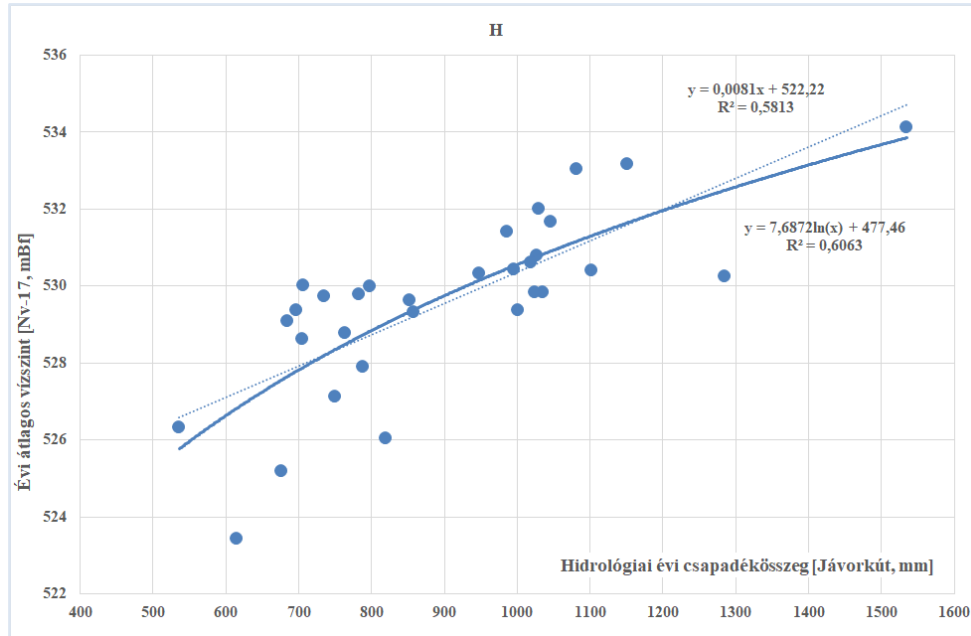
4b. ábra Hidrológiai évi csapadék - szakaszonkénti csapadékatlagok 1992-2023 + 2024. hidrológiai év töredék (07.31-ig), (BKÉR 2024, Émvizig alapadatokból) a BKÉR létezése alatti időszakban



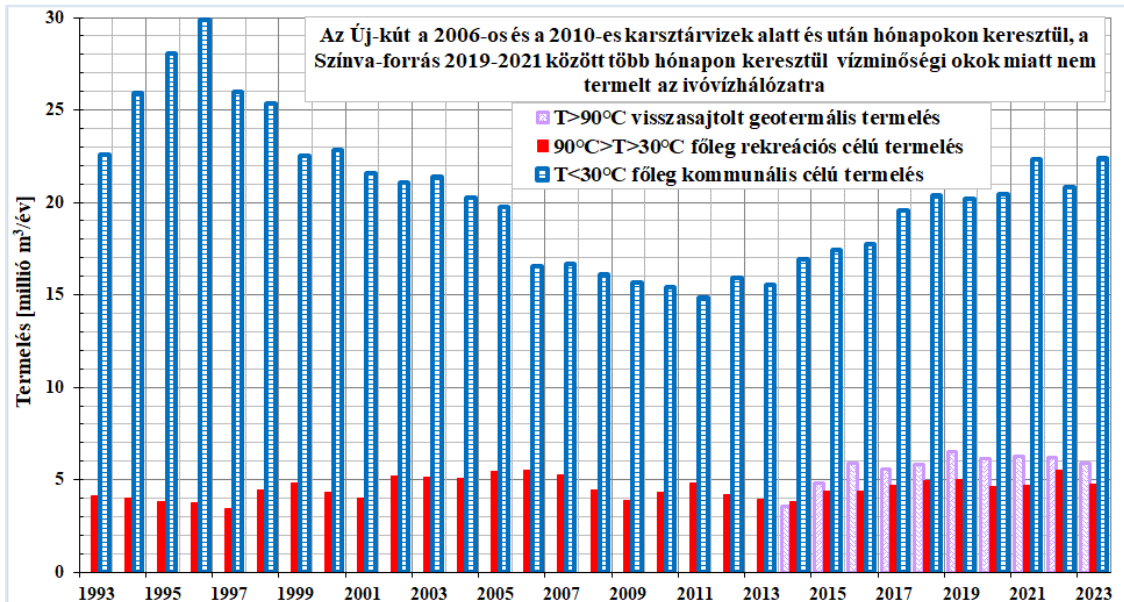
4c. ábra Júliusi jellemző csapadékatatok Jávorkúton (BKÉR 2024, Émvizig alapadatokból)

A következőkben az éves, a víztermelőktől kapott termelési adatokat vettük szemügyre. Az adatokat a hivatalos megfogalmazás szerint bontottuk fel 30 °C alatti és afölötti értékekre. Ezen túlmenően elkülönítettük a kitermelt, nagy hőmérsékletű vízmennyiséget, mely hólevétel után visszasajtolásra kerülnek (5a. ábra). Ezután a kitermelt hideg és meleg karsztvíz mennyiséghez (5b. ábra) először hozzászámoltuk a mályi termelést (ez azt jelentené, hogy a visszasajtott víz teljes egészében az Alföld felé megy el), utána a termelt és visszasajtott mennyiség összegét 0-nak vettük (ami azt jelenti, hogy a visszasajtott víz teljes egészében a Bükk felé mozog.) Valószínű, hogy egyik szélső helyzet sem igaz, de vélhetően, a Bükkben és a Bükk-térségben uralkodó nyomásviszonyok miatt ma a visszajtott víz kevesebb része vesz részt a Bükkben lévő nyomásviszonyok fenntartásában, mint 2014 – a Mályi-Kistokaji Geotermikus Rendszer

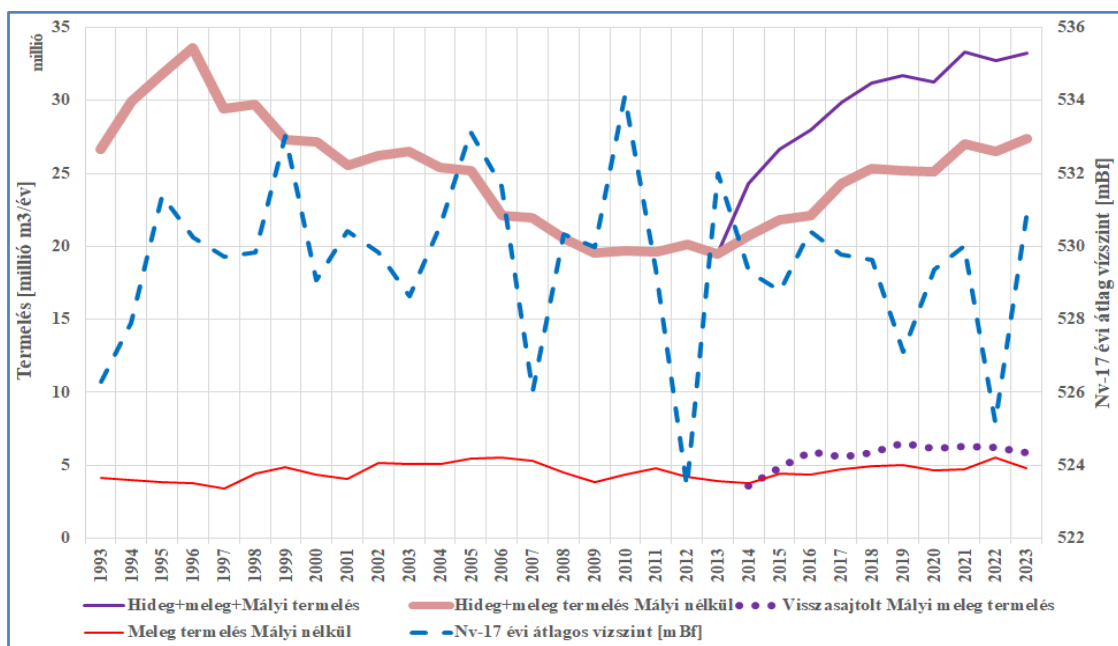
üzembe lépése – előtt. Ennek pontos meghatározása és megfelelő módon történő alkalmazása alapvető lenne a hosszútávú termálkarsztvíz gazdálkodásban. (Megjegyzendő, hogy a víztermelési adatok pontossága hagy még maga után némi kivetnivalót.)



4d. ábra A jávorkúti hidrológiai évi csapadékösszeg és a Nv-17 figyelőkút hidrológiai évi átlagos vízszintje összefüggése (BKÉR 2024)



5a. ábra Az ismert karsztvíz termelés a Bükkből hőmérséklet szerinti megoszlásban 1993-2023 (Víztermelői adatok alapján, BKÉR 2024)



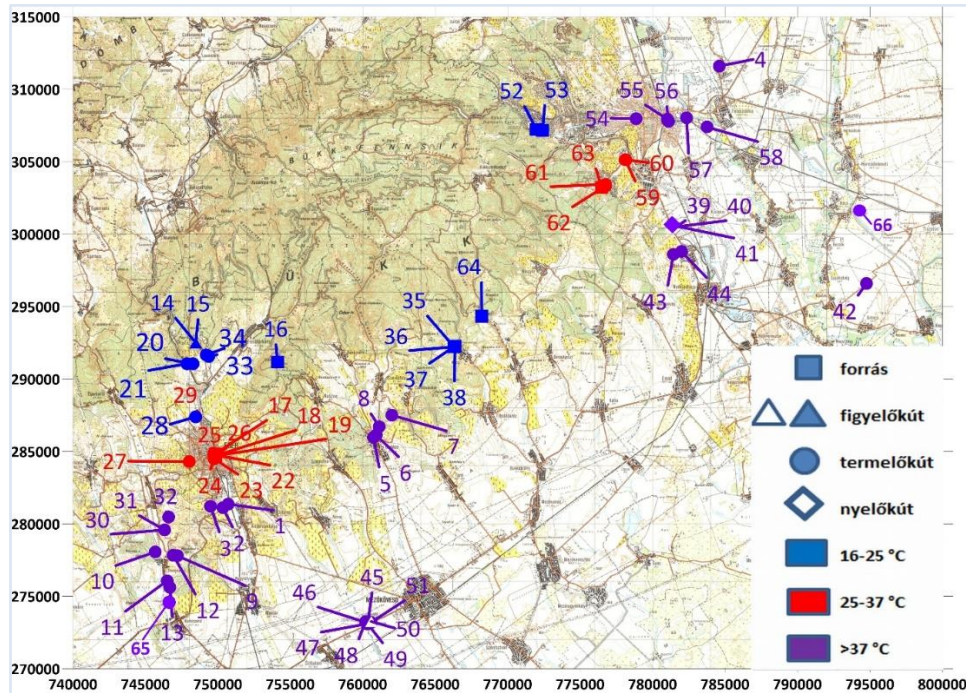
5b. ábra Az ismert karsztvíz termelés a Bükkből hőmérséklet szerinti megoszlásban 1993-2023 (Víztermelői adatok alapján, BKÉR 2024)

Fentebb jeleztük, hogy a Bükkben és a Bükk-térségben 60 fölötti a termálkarsztvizet termelő kutak és források száma. Ezek térbeli elhelyezkedését a (6a. ábra) mutatja be.

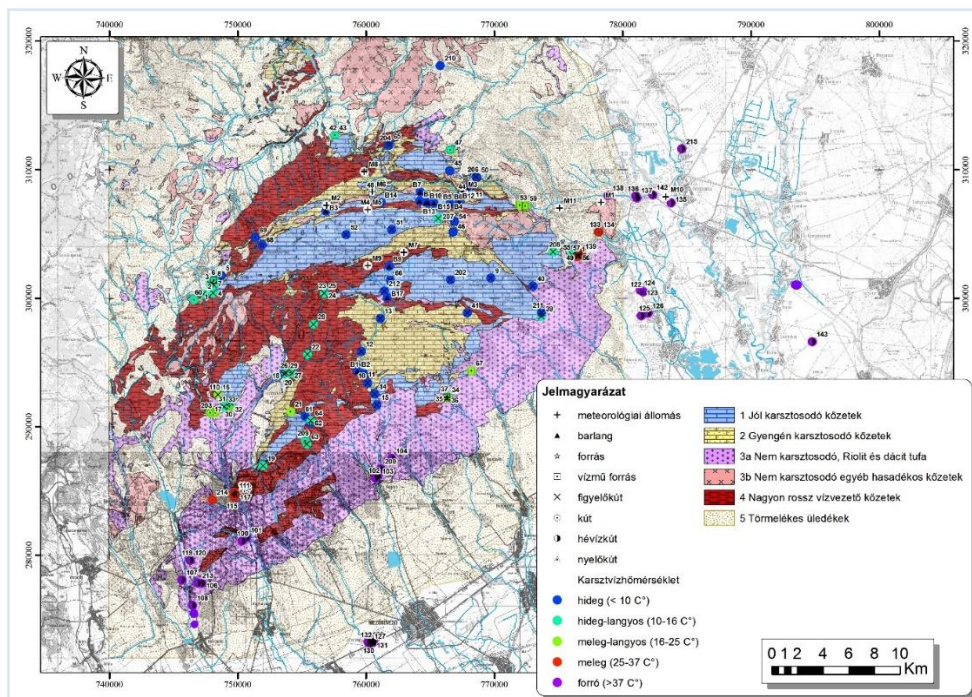
A következő, (6b. ábrán) a termálkarsztos feltárások egy vízföldtani térképen vannak ábrázolva, ahol kiemelkedő szerepe van a bükki nyíltkarsztnak, ill. a hidegkarsztvíznek. A nyíltkarsztokat ÉK-től DNy-ig D felé a felszínen nagy vastagságú, nem karsztos kőzetek határolják. Ezek több száz, több ezer m vastagságúak, a karsztvíz alattuk nagy mélységben tud csak mozogni, így felmelegedve tör a felszínre a hegységperemen lévő meleg-langyos és meleg források formájában, valamint a nem karsztos térszín alatt a karbonátos kőzetekbe mélyített nagy mélységű fúrásokban/kutakban.

A karsztos-nem karsztos kőzetek elhelyezkedése miatt a Bükk-térségi termálkarszt a Bükk-térség ÉK-i részétől annak DNy-i részéig tart. Bár a karszt ezen a területen különböző mélységben helyezkedik el, vízföldtani kapcsolatai jól nyomon követhetők a BKÉR figyelő kutjaiban, ill. a termálkarsztvizet adó termelőkutakban. Pl. a Miskolc környéki és az egerszalóki-demjéni termálkutakban a 2006-os és a 2010-es karsztvíz jelentős nyomásemelkedésekkel egyaránt igen jól kimutatható (Lénárt 2011) A feltárt termálkarsztvíz hőmérséklete a Bükk-től távolodva különböző mértékben nő, mi-vel a termálkarsztvizet egyre mélyebben lehet feltárni. A Vatta-maklári árok szerepe meghatározó a termálkarsztvíz rendszer kialakulása során.

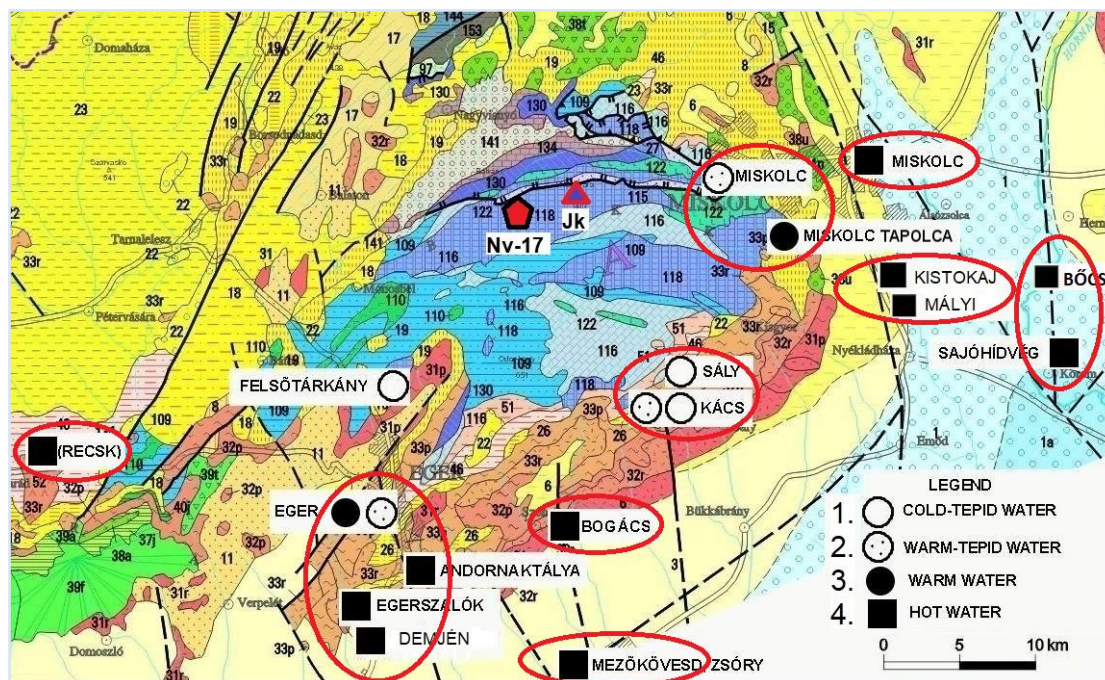
A termálkarsztvizet feltáró kutakat többé-kevésbé összefüggő csoportokként is lehet ábrázolni (6c. ábra). A kapcsolatok erősségének egyértelmű megállapításához további rendszeres, pontos és részletes mérésekre (nyomás, vízhőmérséklet, vezetőképesség, termelés, visszasajtolás stb.) lenne szükség, de ezek hegységnyi szinten még nem áll rendelkezésünkre.



6a. ábra Meleg-langyos, meleg és forró kilépő vízhőmérsékletű források és kutak a Bükk peremén és a Bükk-térségben (M=1:100.000-es EOV térképeken, vízföldtani naplók és saját mérések alapján, Lénárt L., 2024)



6b. ábra Meleg-langyos, meleg és forró kilépő vízhőmérsékletű források és kutak a Bükk peremén és a Bükk-térségben vízföldtani térképen (Hernádi B., Darabos E. munkája nyomán, 2014)



6c. ábra. A Bükki Termálkarsztot feltáró különböző hőmérsékletű források, kutak területi elterjedése. (1: 10-16 °C, hideg-langyos; 2: 16-25 °C, meleg-langyos; 3: 25-37 °C, meleg; 4: $T < 37$ °C, forró) Alaptérkép: Lexa et al, 2005, Pozsony, Lénárt 2024) A földtani képződmények a 6b. ábrán jó közelítéssel azonosíthatóak.

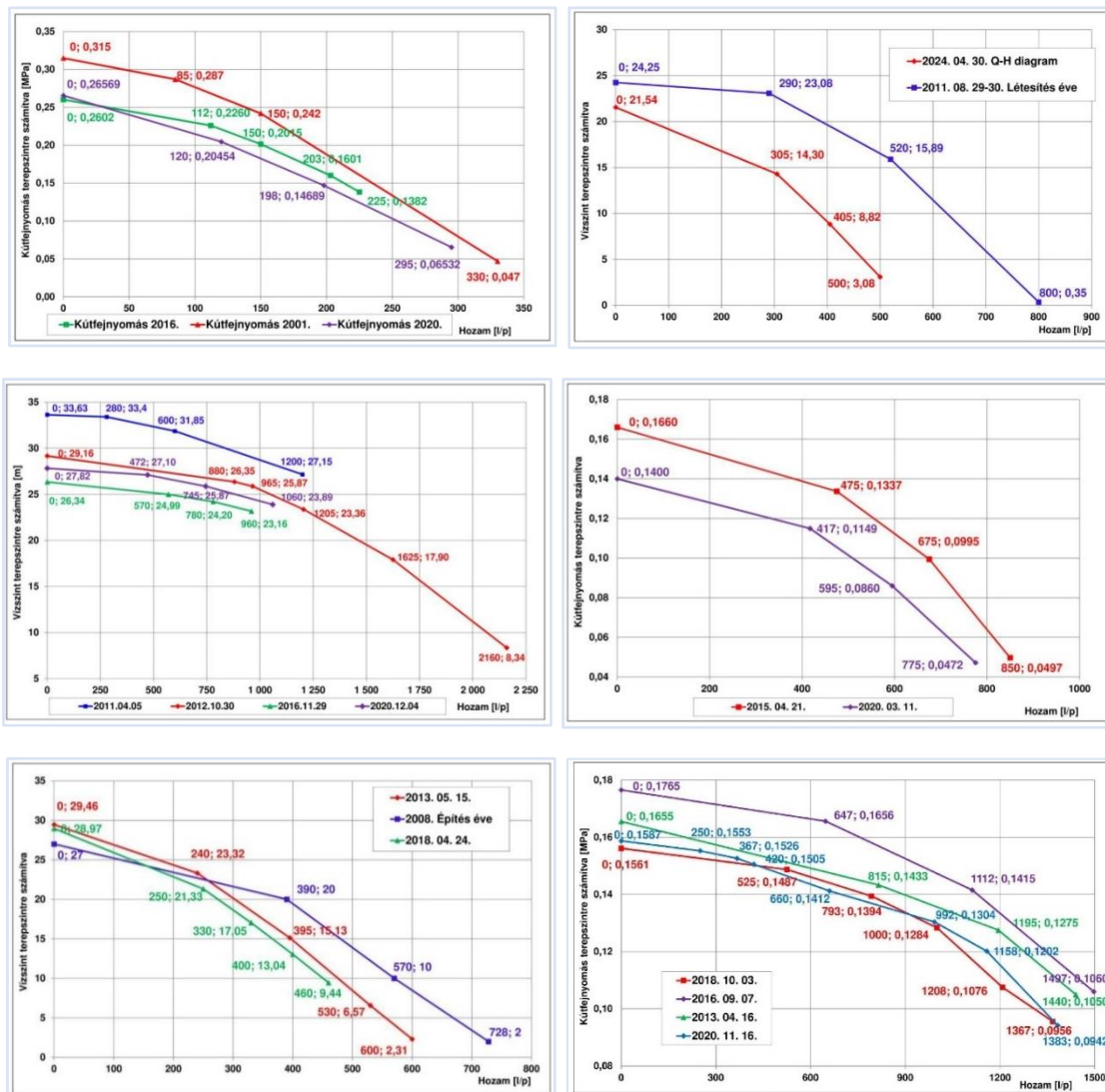
A futó mérések viszont sok olyan adatot adtak eddig is, melyek a közép és hosszú távon nehezen fenntartható termálkarsztvíz gazdálkodásra utalhatnak. Ezek közé sorolhatjuk a geofizikai vizsgálatok során nyert adatokból származó nyomás-vízhozam összefüggéseket, melyek jelentős részben a termelési kapacitások romlását jelzik (7a-7f. ábrák).

A nagyobb mélységben végzendő mérések szükségességét jelzik, hogy pl. a relatív egyszerű vízhőmérsékletméréshez használt, kútfej palástjába becsavarozható műszerek jelentősen eltérő adatokat mérnek azokhoz képest, amelyeket a kútba legalább a terepszint közelébe le tudunk eresztetni (8a.-8b. ábrák). Már a napi átlagoknál is érdemi a különbség, de ha a szokásos 15 perces mérési gyakoriságot használjuk (9a.-9b. ábrák), akkor az eltérések igen szembe tűnőek. (Sokszor ez nem okoz problémát, de egy pontosan kiszámított hőmérlegben a pontos értékek hiánya nagy feladatot tud okozni.)

A minél pontosabb értékek meghatározásához egy érdekes mérést sikerült elvégeznünk Egerszalók-Demjén térségében. Az egyik tartalék kútra felszereltünk egy DATAQUA nyomás és hőmérsékletmérő eszközt (kútpalástba csavarozva), de mivel a tartalékkút nem üzemel, ezért csak kútfej hőmérsékletét tudta mérni, ami 1 hónapon belül 35 °C-os (1 napon belül 26 °C-os) hőmérsékletkülönbséget mért ki, nagyon szépen lekövetve a napi hőingadozást. Összevetve más kutak adataival (9a.-9b. ábrák) „most már csak az a dolgunk”, hogy valami jól működő korrelációs összefüggést dolgozzunk ki.

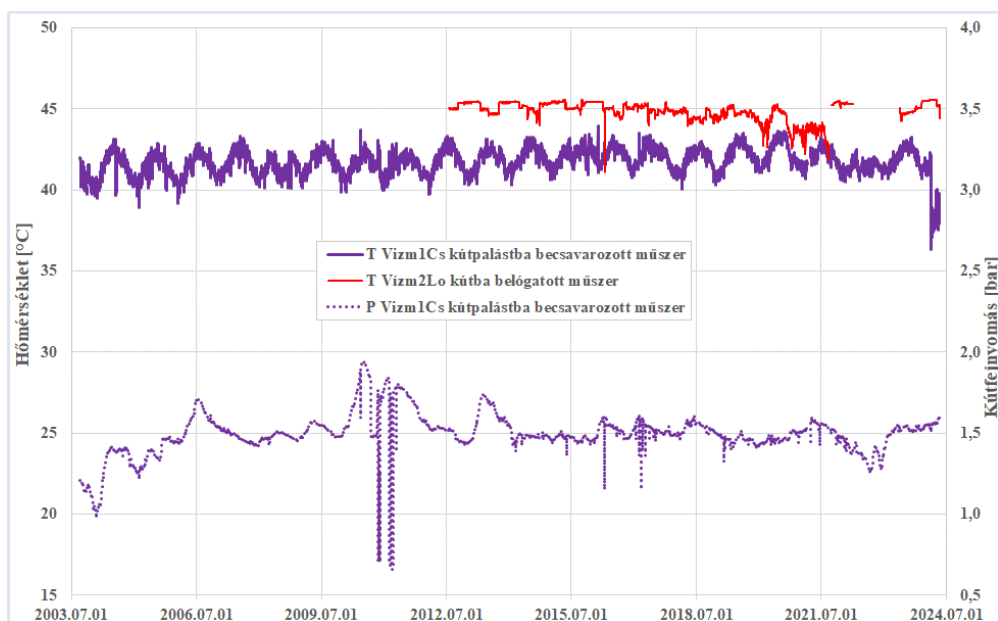
Az eddigi elképzelésünk szerint a nagy mélységű termálkarszt kutak alapján megváltoztatják a karsztvíz áramlását mind a Bükkben (hidegkarsztvíz), mind a Bükk-

térségben (termálkarsztvíz). A lényeg az, hogy a Jakucs (1971) által megrajzolt lencsezónában a víznyomás különbsége a legfontosabb, mozgást generáló erő (10. ábra).

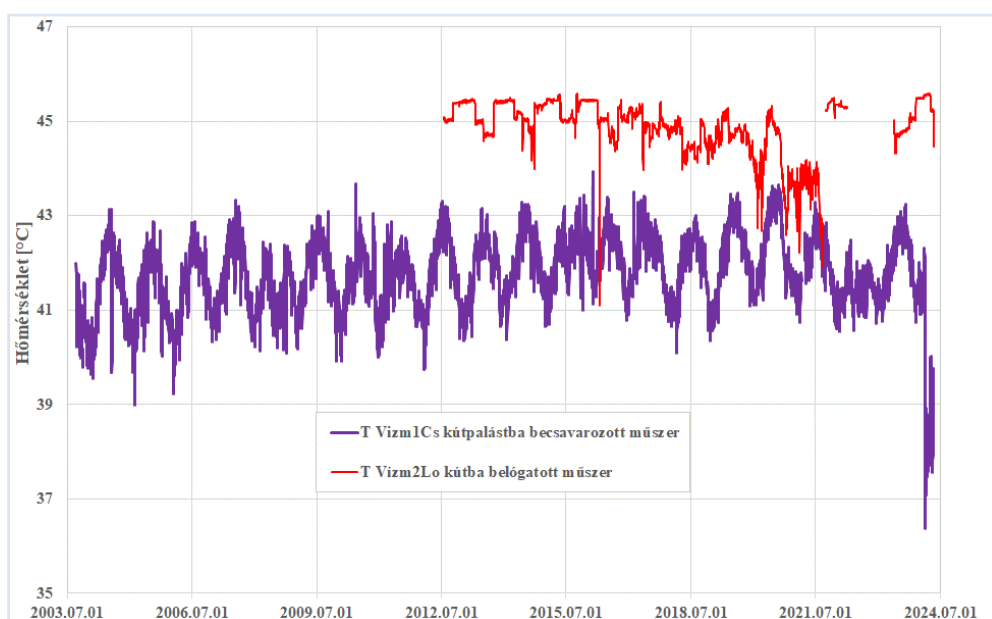


7a-f. ábra Felszíni Q-p diagramok

Pillanatnyilag a bükki karsztvízszint tetőhelyzetének magasság kb. 550 mBf-i értékű. A Bükk legjelentősebb, legmélyebben fakadó forrása a miskolctapolcai Új-kút (Hejő hideg forrása), 127 mBf-i szinttel. Ez kb. 420 m szintkülönbség, azaz kb. 42 bar nyomáskülönbség. Ha a pillanatnyilag legmélyebb Bükk-térségi termálkarsztkút beömlési mélységét vesszük, akkor a mélységkülönbség az Új-kúthoz 2419 m, a karsztvízdomborzat tetőpontjához képest 2842 m, ami utóbbi 284 bar nyomáskülönbséget jelent. (Természetesen ez a kútfejen néhány 10 m-es víz-szintkülönbséggé alakul az ellenállások miatt, de az jól látszik, hogy itt komoly nyomások, nyomás-különbségek alakulnak ki.)

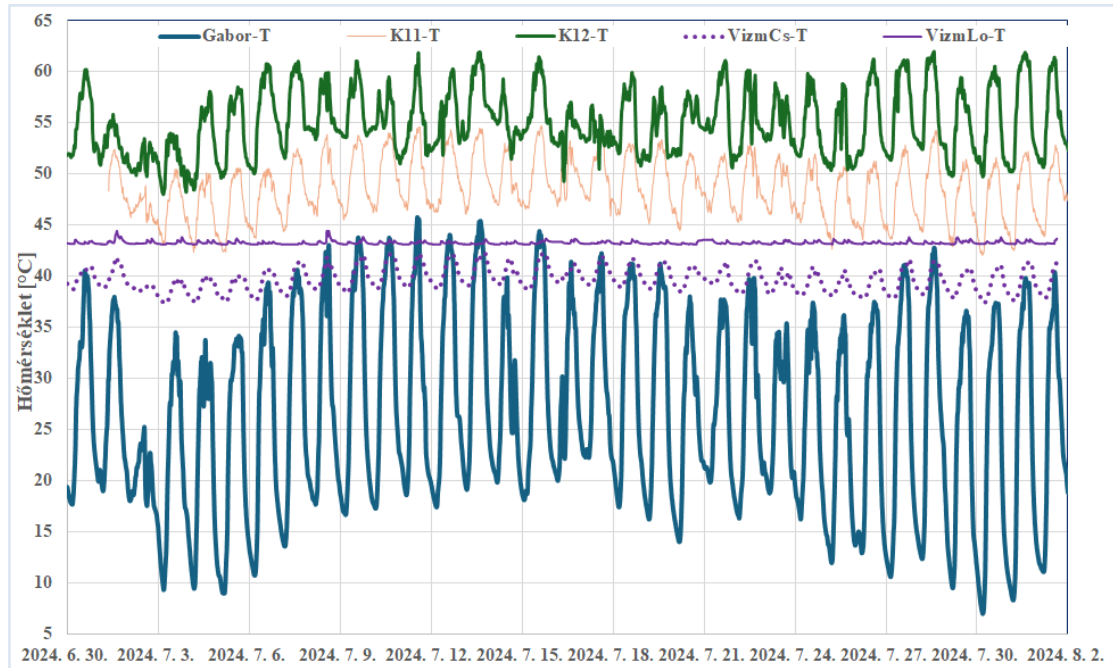


8a. ábra Miskolc, Vízmű Kertészeti telep kút, 2 mérőműszer, napi átlagok (BKÉR 2024)

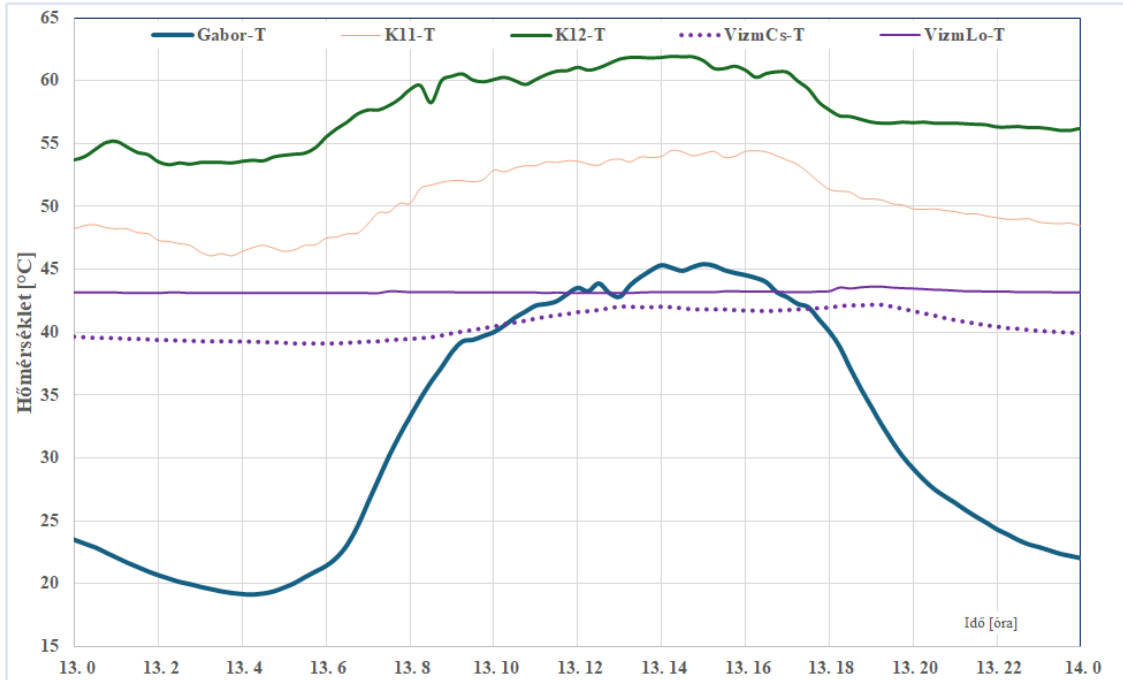


8b. ábra Miskolc, Vízmű Kertészeti telep kút, 2 mérőműszer napi átlag hőmérsékleti értéke (1: víz + kútfej hőmérséklet együtt; 2: vízhőmérséklet a kútban terepszinten, BKÉR 2024)

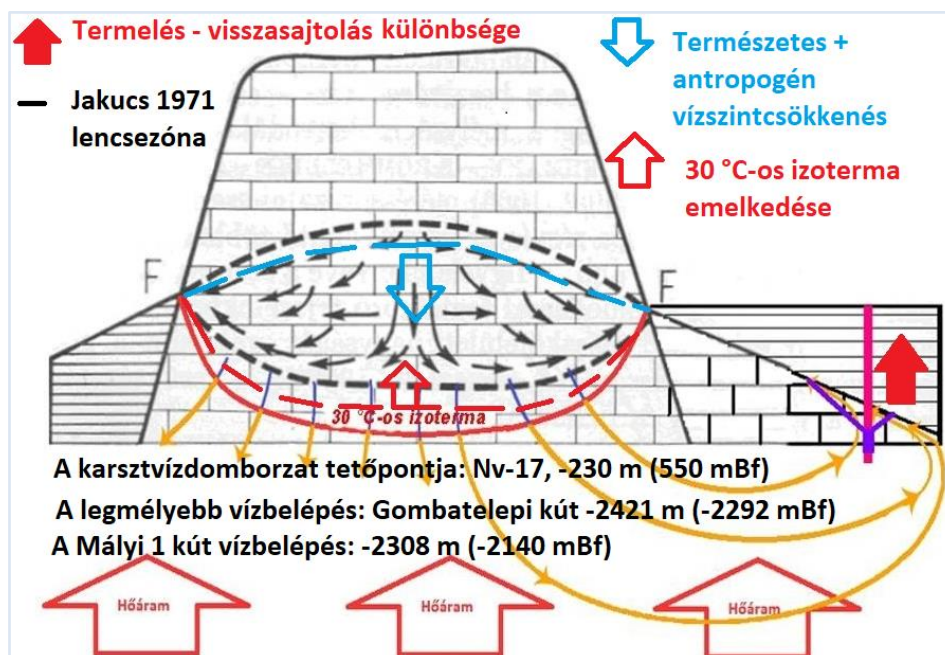
A termelés okozta áramlási változások mellett a visszasajtolással is lehetnek gondjaink. A kistokaji visszasajtolás a 10 bar-os értéket ritkán haladja meg. De az fontos kérdés, hogy a víz mekkora része megy a Bükk (magasabb nyomású hely) felé, és mekkora része az Alföld (alacsonyabb nyomású hely) felé? Erre a kérdésre pontos, egzakt érték meghatározása a jövő kutatásainak egyik komoly feladata.



9a. ábra Kútfej hőmérséklet (Gábor-kút), víz és kútfej eredő hőmérséklete kútfejbe csavart mérőműszerrel (K11, K12, VizmCs), víz hőmérséklet kútfejen belül, terepszintig leengedett műszerrel (VizmLo), 1 hónapos időtartam, 15 perc mérési gyakoriság (BKÉR 2024)



9b. ábra Kútfej hőmérséklet (Gábor-kút), víz és kútfej eredő hőmérséklete kútfejbe csavart mérőműszerrel (K11, K12, VizmCs), víz hőmérséklet kútfejen belül, terepszintig leengedett műszerrel (VizmLo), 1 napos időtartam, 15 perc mérési gyakoriság (BKÉR 2024)



10. ábra A Bükk hideg karsztvízrendszere és a Bükk-térség termálkarsztvíz rendszere kapcsolatának intenzívebbé válása a nagymélységű termálkarsztkutak hatására (Lénárt, 2023)

Eredmények

A BKÉR hosszú adatsorain 2010-től egyértelmű csökkenés látszik. A természeti és az antropogén hatások egyaránt jelen vannak, de az arányok nem egyértelműek.

A 33 éves folyamatos adatsorok alapján egyértelművé vált, hogy a hidrológiai éves csa-padékmennyiség és a Nv-17 (tetőhelyzetben lévő karsztvízfigyelő kút) hidrológiai éves átlagos vízszintjei között a kapcsolat szorossága közepes erősségű.

A Bükk és a Bükk-térség víztermelésének maximuma 1997-ben volt, onnan folyamatosan csökkent a 2010-es évek elejéig. Onnantól emelkedésbe fordult és 2023-ban gyakorlatilag elérte az 1993-as induló szintet. Tehát a karsztvízszint csökkenéséhez a termelés megemelkedése és részben a termálkarsztvizek termelésének emelkedése biztosan hozzájárult.

Ha viszont hozzávesszük a mályi termelést (amit Kistokajban teljes mértékben visszasajtolnak) akkor a teljes termelés gyakorlatilag megegyezik az 1997-es maximális értékkel. (E vizsgálatrésznél az okozza az egyik nagy problémát, hogy semmilyen adatunk nincs arra vonatkozóan, hogy a visszasajtolt rész mekkora része fordítódik a Bükk, ill. a Bükk-térség termálkarsztvíz egyensúlyának fenntartására, ill. mekkora rész megy el az alacsonyabb nyomásoknak megfelelően az Alföld felé.)

A Bükk-térségben a Bükktől távolodva egyre melegebb termálkarsztvíz tárható fel, egyre mélyebben, a Vatta-maklári árok mindkét szárnyán. (A legnagyobb feltárási mélység a jelzett árok tengelyében várható.) A Bükk-térségben több, mint 60 műszaki létesítménnyel (forrásfoglalással, termál-karszt kúttal) 16-100 °C-os hőmérsékletű víz kerül a felszínre, a kutak talphőmérséklete között 127 °C-os a legmagasabb. A területen hasznosítatlanul elfolyó vizű kutak is vannak, pl. a sajhídvégi (körösí) kút.

A Bükk-térség termálkarsztvizének feltárása folyamatos jelenleg is (Mályi 3. termelőkút fúrása). A fürdési és rekreációs célú igénybevétel mellett egyre nagyobb szerepet kap a csak fűtési (kommunális) szerep is, emiatt a kitermelt termálkarsztvíz egy része visszasajtolásra kerül. A Mályi-kistokaji Geotermikus Rendszer 2012 óta folyó monitoringja tartós és szignifikáns eltérést nem állapított meg környezeti hatásként a térségben lévő kutakban, figyelőkutakban, de érthetetlennek tűnő rövid idejű hőmérséklet és víznyomásváltozások többször előfordultak.

Következtetések

A Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer, a Mályi-Kistokaji Geotermikus Monitoring, valamint a rendszereken kívüli geotermikus létesítményekben, valamin a kisgyőri távlati vízbázis figyelőkutjai-ban történő mérések együttes értékelése nagyon fontos. A mérések megbízhatóságát, az adatok egyértelműsítését mindenképpen javítani kell, főleg a termelési értékek esetében. Az adatokból le-vont tanulságokat, jelzéseket, figyelmeztető jeleket a termelőknek és a hatóságoknak fokozottabban kell figyelembe venni, mert a Bükk-térség termálkarsztvíz készlete nem végtelen és nem kimeríthető. A vizsgált terület egyes részein túltermelésre utaló jelek is látszanak. A kistokaji visszasajtolás mennyiségi megoszlását a Bükk, ill. az Alföld felé mindenképpen vizsgálni célszerű.

Köszönetnyilvánítás

„A kutatást az MTA Fenntartható Fejlődés és Technológiák Nemzeti Program (FFTNP FTA) támogatta.”

„The research was funded by the Sustainable Development and Technologies National Program-me of the Hungarian Academy of Sciences (FFT NP FTA).”

Felhasznált irodalom

- Dombi S. (1766): Relatio de minaralibus incltyi comitatus Borsodiensis aquis. Jelentés a nemes Borsod vármegye ásványvizeiről. (Fordította Tegyei Iné., 1976, Budapest) Bader Imre Félix kiadás, Bécs.
- EOV. M = 1:100.000-es térképek
- Jakucs L. (1971): A karsztok morfogenetikája, Akadémia, Budapest.
- Lénárt L. 2005: Some aspects of the „3E's” (Economics-Environment-Ethics) model for sustainable water usage in the transboundary Slovakian and Aggtelek karst region based on some examples from the Bükk Mountains. PhD dissertation, Kassa/Kosice, 2005.
- Lénárt L. (2008): Hideg, langyos és meleg karsztvíz-zónák a Bükkben és környezetében. Mineral waters in the Carpathian Basin 5th Internat. Scientific Conf. Csíkszereda, 2008. július 25-26. pp. 41-50.
- Lénárt L. (2010): The Interaction of Cold and Warm Karst Systems in the Bükk Region. Proceedings of the 1th Knowbridge Conference on Renewables, pp. 111-118, Miskolc.
- Lénárt L. (2011): A bükk környéki termálkarszt lehatárolásának tudománytörténeti áttekintése 1907-től napjainkig = Karsztfejlődés XIV. pp. 9-20, Szombathely.
- Lénárt L., Hernádi B. (2012): A bükki termálkarsztvíz hőmérsékletének morfológiai, földtani és vízföldtani okai. A Kárpát-medence ásványvizei IX. nemzetközi tudományos konferencia, 2012.08.30-09.01, (ISBN 978-973-7625-37-3) pp. 25-36, Herkulesfürdő, Románia.

- Lénárt L., Szegediné Darabos E. (2012): The hydrogeological relations of the thermal karst of Bükk mountains (Northern Hungary). Proceedings of the 13th National Congress of Speleology, 29. Sept.-1. Okt. 2012, Speleodiversity, (ISBN 978-2-88374-021-1; ISSN 0069-8911; EAN 9782883740198) pp. 209-214, Muotathal, Schweiz.
- Lénárt L., Hernádi B., Szegediné D. E., Debnár Zs., Czesznak L., Tóth K., Tóth M. (2014): Bükk-térséget is bemutató termálvíz térképek pontosítási lehetőségei a legújabb fúrások adatai alapján. A Kárpát-medence Ásványvizei X. Nemzetközi Tudományos Konferencia, 2014.08.29-31, (ISBN 978-973-7625-63-2) pp. 40-52, Csíkszereda, Románia.
- Lénárt L., Darabos E., Hernádi B., Czesznak L., Miklós R., Tóth M. (2017): A bükki termálkarszt Bükk-térségi részének pillanatnyi feltártsága, Siófok, 2017.03.28. előadás.
- Lénárt L. (2018): Unsuccessful wells and research drilling halted at incorrect depth in the Bükk Thermal Karst. LECTURES of 14th Internat. Scientific Conf. on Mineral Waters of the Carpathian Basin. BARDEJOVSKÉ KÚPELE, 22th – 24th Aug 2018. CD, ISBN ISBN 978-80-972639-1-1 pp. 16-42.
- Lénárt L. (2023): A bödöncsiga (*Theodoxus prevostianus*) élőhelyeinek hidroökológiai vizsgálata Kács és Sály (Észak-Magyarország) langyosvízű forrásaiban, patakjaiban. A Kárpát-medence Ásványvizei. XVII. Nemzetközi Tudományos Konferencia. ISBN 978-606-8951-51-5. Csíkszereda/Miercurea Ciuc, 2023.08.30-09.02, pp. 107-131, Csíkszereda/Miercurea Ciuc
- Lénárt L. (2024): A bükkben keletkezett kitermelhető karsztvízkészlet folyamatos meghatározásának módszere XXXI/a. Az 1992. 10. 10. - 2023. 12. 31. közötti mérések értékelése, ME, kézirat.
- Miklós R., Lénárt L., Darabos E., Kovács A., Pelczéder Á., Szabó P. N., Szűcs P. (2020): Karst water resources and their complex utilization in the Bükk Mountains, northeast Hungary: an assessment from a regional hydrogeological perspective. *Hydrogeology Journal*. <https://doi.org/10.1007/s10040-020-02168-0>
- Miklós R., Lénárt L., Darabos E., Kovács A., Czesznak L., Pelczéder Á., Szűcs, P. (2021): A Bükk hegység karsztvíz-készleteinek feltárása és hasznosítása. *Hidrológiai Közöny*, 101, 2, 31-43, HU ISSN 0018-1323.
- Miklós, R. (2022): A bükki karsztrendszer hidrogeotermikus jellemzése komplex karszthidrogeológiai vizsgálatokkal. PhD értekezés, Miskolci Egyetem.
- Miklós, R., Lénárt, L. (2023): Termálkarsztvizek monitoringjának felülvizsgálata a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer keretein belül. A Kárpát-medence Ásványvizei. XVII. Nemzetközi Tudományos Konferencia. ISBN 978-606-8951-51-5. Csíkszereda/Miercurea Ciuc, 2023.08.30-09.02, pp. 26-33.
- Műszeres vizsgálatok Bükk-térségi termálkarsztkutakban (2006-2024)
- OVF (2017): Magyarország Víztestjei
- Pávai Vajna, F. (1929): A lillafüredi kutató mélyf (Páai 1929úrás eddigi története és geológiai viszonyai. *Hidrológiai Közöny*, 9. évf. pp. 38-50. + 9 fénykép, Budapest.
- Scheuer, Gy. (1971): Eger és környékének vízföldtani viszonyai, vízszerezés lehetőségei. Eger, Vízgazdálkodási Anket.
- Szlabóczky P. (1974): Karsztvíz tározó rendszer termohidraulikai vizsgálata Miskolc környéki adatok alapján. *Hidrológiai Közöny*, 54. 11. 516-523.
- Vetési-Foith Sz., Lénárt L., Leél-Össy Sz., Virág M. (2022): The Caves of the Bükk Mountains. pp. 323-359. In: Veress, M. – Leél-Össy, Sz. [Editors] *Cave and Karst Systems of Hungary*. p. 629. ISBN 978-3-030-92959-6; <https://doi.org/10.1007/978-3-030-92960-2>, Springer
- Vitális Gy. (1966): Adatok a DNY-i Bükk vízföldtanához. *Hidr. Közl.* XLVI. évf. 6. sz. p. 255-260.
- Vízföldtani naplók 2024-ig: Bükk-térség termálkarszt kutjai

A BÜKKÁBRÁNYI BÁNYA VÍZMŰKÚTJÁNAK (BA-189) ÁSVÁNYVÍZZÉ MINŐSÍTÉSE

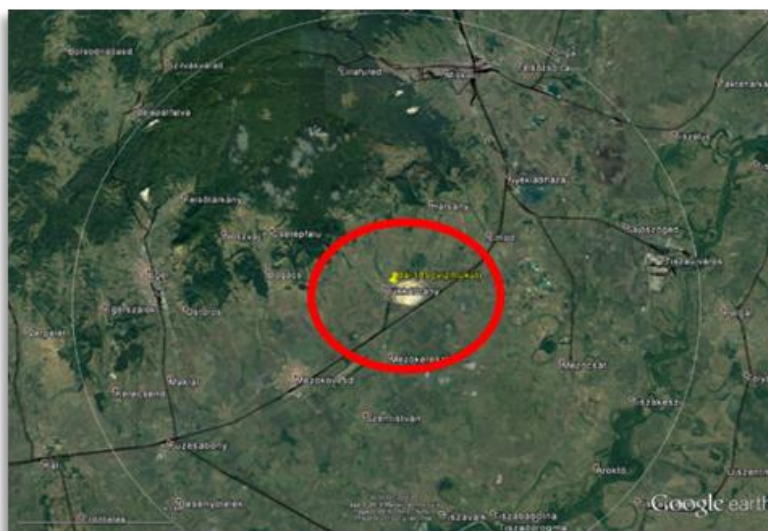
Tóth Katalin

¹hidrogeológus mérnök, MVM ME ZRT

Bevezetés

Magyarország jelenleg még üzemelő két lignitbányája a visontai és a bükkábrányi külfejtés, melyek a Bükk-Mátraaljai lignit előfordulásra települtek.

Bükkábrány elhelyezkedését az 1. ábra mutatja be, a Bükk déli lábánál.



1. ábra Bükkábrány a Bükk lábánál (forrás: GOOGLE EARTH)

A Bükkábrányban bányászott lignitlepek a Pannon tenger peremén, 6-8 millió évvel ez-előtt alakultak ki, 15 méteres átlagvastagságban, átlagosan 90 méter mélységben az ott lévő egykori tőzeglápokból, melyeket a háttérből a folyók valamint a Pannon tenger változó előre nyomulásai töltöttek fel.

A Bükkábrányi Bányában külszíni bányászati technológiával, nagygépekkel történik a lignit termelése. A bányászat során a nyitott bányagödör egyik oldalán a meddő letermelése, „kö-zépen” a lignit termelése (ld. 2. ábra), a letermelt részen pedig a visszatöltés, az ún. hányó-képzés zajlik (ld. 3. ábra)

A külszíni bányászati technológia megköveteli a megfelelő víztelenítést, hiszen a legna-gyobb veszélyt a részű- illetve a hányócsúszás, valamint a hidraulikus talajtörés jelenti.



2. ábra Lignittermelés nagygéppel, háttérben a bányahomlokkal (saját fotó)



3. ábra Meddőhányó (saját fotó)

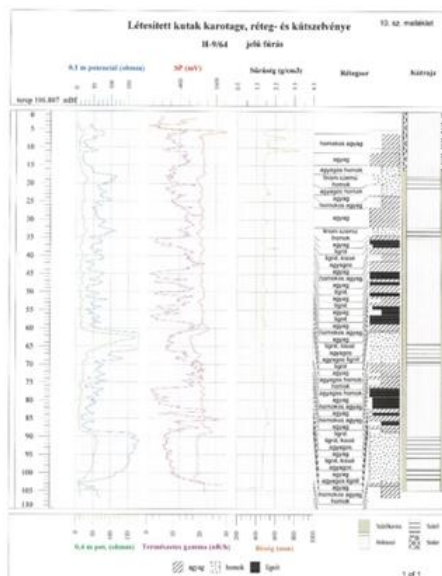
Egy külszíni bányában a víztelenítés két részből áll:

1. Elővíztelenítés: fedő oldalon a vízadó rétegek víztelenítése, fekü oldalon pedig víz-adó rétegek feszültségmentesítése.
Fő elemei: ejtő-és határvédő kutak, figyelő (monitoring) kútcsoportok és csorgák (felszíni vízelvezető árkok)
2. Nyíltvíztartás: a bányagödörben összegyűlő csapadékvíz és csurgalékvíz kiemelése zagyszivattyúk segítségével a terepszintre.

Elővíztelenítés során a legalsó, még művelt lignitlep alatt található vízadó réteg fedője alá 3 méteres talpmélységgel fúrunk, un. víztelenítő kutakat, melyek lehetnek határvédő- illetve ejtő kutak. A víztelenítést három éves előre tartással tervezzük.

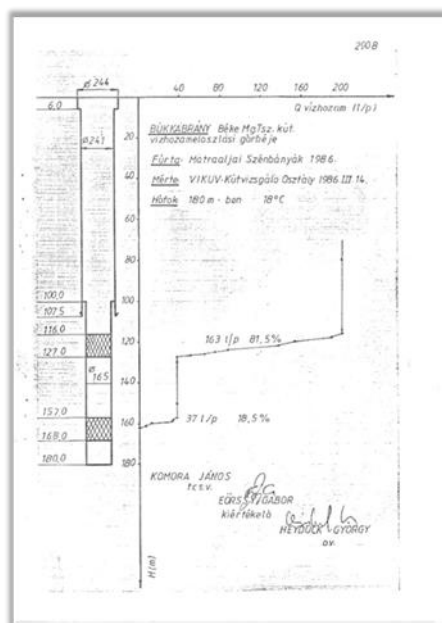
A víztelenítésre használt víztelenítő kutak kialakítása során az összes harántolt vízadó réteg beszűrőzésre kerül (ld. 4. ábra), a gyűrűstér a legfelső vízadó réteg fedőjéig

gyöngykaviccsal, onnan a terepszintig bányasóderrel kerül feltöltésre, a béléscső átmérője és anyaga nem változik.



4. ábra Viztelenítő kút (saját munka)

Ezen rövid kis kitérő után, melyben röviden bemutattam a külszíni bánya működését, víztelenítését rá szeretnék térni a munkám tárgyára a Bükkábrányi Bánya Ba-189 számú Vízmű kutjára, mely az előzőleg bemutatott kúttal szemben egy víztermelő kút (ld. 5. ábra).



5. ábra Bükkábrányi Bánya Vízműkút (forrás: MVM ME ZRT, BTEO)

Víztermelő kút esetében a vízminőség biztosítása érdekében csak az a vízáadó réteg kerül beszűrőzésre, melyből a kívánt vízmennyiség biztosítható. Különböző vízáadórétegek nem kerülnek összenyitásra, így a kútból termelt víz csak a beszűrőzött rétegre jellemző. A bé-léscső átmérője és anyaga is változik, nem feltétlenül PVC.

A Bükkábrányi Bányában a víztelenítő kutakból termelt víz felszíni csorgásokon keresztül elvezetésre kerül a Sályi- illetve a Csincse-patakokba, melyek végső soron a Tisza tóba tor-kolnak. A kiemelt vizek után a törvényben meghatározottak alapján VKJ-t fizet az MVM ME ZRT.

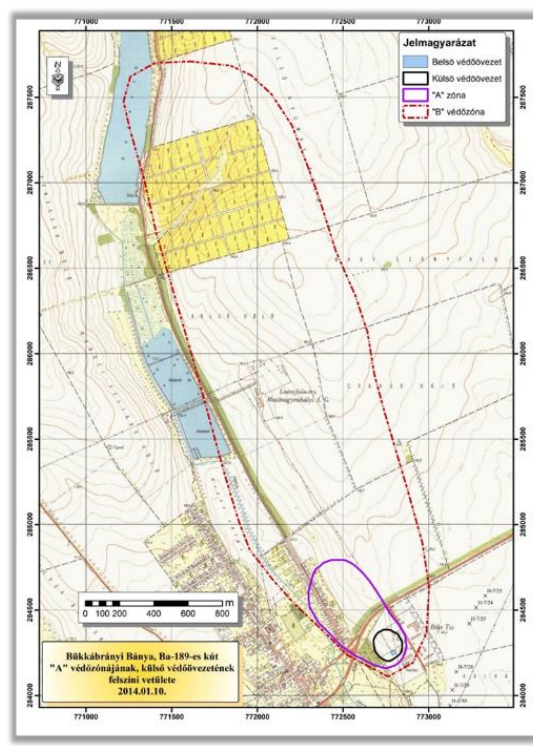
A termelt vizek hasznosítási lehetőségével, a „0” vízvesztességű bányászat érdekében 2012-ben foglalkoztunk. Ekkor határoztunk úgy, hogy a telephelyen található Vízműkút, továbbá két víztelenítő határvédő kút vizét megpróbáljuk ásványvízzé minősíteni.

A két határvédő kút a H-10/1 és a H-10/2 kiképzését tekintve eltér, funkciójukat tekintve viszont nem különbözik a többi víztelenítő kúttól. Ezt a két kút a legfelső vízáadó réteg fedő-jétől a terepszintig fel lett cementálva. Vízminőségét tekintve kevert, de iható minőségű vizet lehet termelni belőlük.

ÁSVÁNYVIZZÉ MINŐSÍTÉS LÉPÉSEI

Hidrogeológiai modellek megalkotása:

- a. GÁMA-GEO KFT készítette, mindkét szóba jöhető területről (Ba-189, H-10/1, H-10/2 kutakról),



6. ábra Ba-189 (K-14) Vízműkút "A" védőzónájának, külső védőövezetének felszíni vetülete (forrás: GÁMA-GEO Kft)

- b. a 123/1997 (VII.18) sz. Kormányrendelet alapján.
- c. A működő bánya és a jelentős, aktív vízszintsüllyesztés közelsége miatt a Kormányrendelet alkalmazhatósága korlátozott volt.
- d. Ahol a Kormányrendelet egyértelműen iránymutatást nem adott, ott a magasabb rendű jogszabály az 1995. (LVII.) Vízügyi Törvény 123/1997 (VII.18.) Kormányrendelet céljaival összhangban készült a védőidom kijelölése.
- e. A két modell megalkotása során megállapítást nyert, hogy a Kormányrendelet alapján hidrogeológiai védőidom csak a telephelyen található Ba-189 Vízműkútra jelölhető ki.
- f. A H-10/1 és a H-10/2 kutak esetében a belső védőövezet és a hidrogeológiai védőidom „B” zónája alakítható csak ki korlátozásokkal, folyamatos vízmi-nőség ellenőrzéssel. Így ezen kutak vizének ásványvízzé minősítése el lett vetve.

Ba-189 jelű vízműkút ásványvízzé minősítésének lépései:

Az előzőek ismeretében a minősítés további lépéseit már csak a telephelyen található Vízműkút vizére folytattuk. (ld. 7.-8. ábra)



7. ábra Ba-189 Vízműkút (saját fotó)



8. ábra Vízműház a glóbuszal (saját fotó)

1. Az illetékes Hatóság 559-6/2014. számon megadta a határozatát a védőidom kijelöléséről.
2. Vízkémiai vizsgálatok, melyeket az ÉRV ZRT Központi Laboratóriuma végzett el. (0. lépésként „tájékoztató” jellegű vízkémiai vizsgálatok is történtek mindét modellezett hely környezetében, mely vizsgálatok magukba foglalták a trícium vizsgálatot is.) A hidrogeológiai védőidom kijelölése után elkészült újra a Vízműkút teljes körű vízkémiai vizsgálata.

3. A kút közegészségügyi elbírálásáról szakvéleményt akkori nevén a B.A.Z. me-gyei Kormányhivatal Népegészségügyi Szakigazgatási Szerve adta ki BOR/015/920-5/2013. számon.
4. A kút vizének ásványvízzé minősítéséről szakvéleményt az Országos Környezet-egészségügyi Intézet (OKI) Vízhigiénés Osztálya adta ki, OKI 6536/2013 iktatási számon. A 2013. január 22-ei szakvélemény kimondja: „vízhigiénés és vízbiz-tonsági szempontból a Bükkábrány K-4 OKK kút víz felsőleg (palackozási céllal) történő felhasználásra természetes ásványvízzé minősíthető.”
5. A folyamat utolsó lépéseként 2014. március 20-án megkaptuk a KEF-732-8/2014. számú határozatát, melyben az Országos Tisztifőorvosi Hivatal (OTH) Közegészségügyi Főosztálya a „Bükkábrány K-4 OKK kút vizének élelmi-szerkénti, kizárólag palackozási célú felhasználását „BÜKKÁBRÁNY Ás-ványvíz” néven engedélyezi.

Összes oldott ásványi anyagtartalom: 460 mg/l

A víz kalcium-magnézium-hidrogén-karbonátos jellegű.

Palackozás előtt szükséges a vas- és mangántalanítás.

Jelenleg is a minősített kút vize látja el a telephelyet ivó- és fürdővízzel. A minősítéshez egy címke tervet is be kellett adni, melyet a 9. ábra mutat be.



9. ábra A Minősített "BÜKKÁBRÁNYI Ásványvíz" címketerve (MVM ME ZRT BTEO)

A BÜKK-HEGYSÉG KARSZTVÍZSZINTJEINEK WAVELET ELEMZÉSE

WAVELET ANALYSIS OF THE KARST WATER LEVELS OF THE BÜKK MOUNTAINS

Ilyés Csaba^{1,2,*}, Miklós Rita^{1,2}, Lénárt László^{1,2}, Szűcs Péter^{1,2}

¹Miskolci Egyetem Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar, Víz- és Környezetgazdálkodás
Intézet, Miskolc

²Víz tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium, Miskolci Egyetem, Miskolc

*csaba.ilyes@uni-miskolc.hu

Összefoglaló

Számításaink során a Bükki Karsztvízszint Monitoring Rendszerrel mért hosszú távú adatokkal kerestük a különböző mért paraméterek adataiban ciklikus komponenseket, a hagyományos determinisztikus eljárások kiegészítéseként a wavelet analízis módszertanával. Több mérési helyen is sikerült kimutatni 1 éves, 3 éves, vagy ennél hosszabb periódusú ciklusokat, és a módszer segítségével azt is meg tudtuk határozni, hogy mely ciklusok jelentek meg az idősorokban, volt-e olyan időszak, amikor az adatsorokban nem volt kimutatható. A wavelet koherencia vizsgálatok során megállapítottuk, hogy ezek a ciklusok milyen mértékben mozognak együtt a Bükk-hegység mérési pontjainak adatsoraiban, illetve van-e olyan eset, amikor az egyik mérőpont "vezeti" a másik idősort.

Kulcsszavak: perióduselemzés, vízszint, wavelet, Bükk

Abstract

During our calculations, we used long-term data measured by the Bükk Karst Water Level Monitoring System to search for cyclic components in the data different measured parameters, using the methodology of wavelet analysis to supplement traditional deterministic procedures. Cycles with a period of 1 year, 3 years, or even longer were detected at several measurement sites, and with the help of the method, we were also able to determine which cycles appeared in the time series, and whether there was a period when it was not detectable in the data series. During the wavelet coherence tests, we determined to what extent these cycles move together in the data series of the measuring points of the Bükk Mountains, and whether there is a case where one measuring point "leads" the other time series.

Keywords: periodicity analysis, water levels, wavelet, Bükk

Bevezetés

A Bükk-hegység jelentős szerepet tölt be Észak-Magyarország különböző vízigényeinek kielégítésében. A vízadó rétegből termelt karsztvizek adják a környező városok ivóvizét, a környék híres termálfürdőinek balneológiai vizeit, míg a mélységi meleg karsztvizeket Miskolcon egész városrészek fűtésére használják (Miklós et al., 2020).

A tárolt víz mennyiségének és minőségének viselkedését több mint egy évszázada kutatják, a jelenlegi Bükki-Karszt Vízsztint Monitoring Rendszer 1992 óta működik (Lénárt, 2023).

A jelenlegi monitoring hálózattal nagyszámú mérést végeztek a hegyvidéken, jelenleg (2024) több mint 23 millió adat áll a kutatás rendelkezésére.

Korábban számos matematikai és statisztikai módszert alkalmaztak a hideg és meleg karsztrendszerek víztesteinek vizsgálatára, így a rendelkezésre álló vízkészlet meghatározására, a különböző vízhasználatok hatásainak meghatározására (Darabos et al., 2022). A monitoring idősoraival egy nagy adatbázissá fejlődve fejlettebb matematikai módszerek használhatók számos kutatási célból. Az adatsorok tisztítása után a monitoring hálózat hosszabb idősoráiból wavelet és a bi-wavelet koherencia számításokat végezzük, hogy meghatározzuk a hideg- és melegvízes kutak különböző méréseiben a ciklikusságot és statisztikai szignifikancia értékeket a meghatározott ciklusokhoz rendeljük (Ilyés et al, 2018).

Vizsgálataink során napi, havi és éves adatokat használtunk (az adatsorok hossza jellemzően 8-11 év volt, de vannak olyan idősorok is, amelyek 30 évnél hosszabbak), hogy vizsgálatainkat elvégezhessük. a lehető legszélesebb spektrumban.

Vizsgálataink első eredményei révén jobban ismertté válik a Bükk-hegység karsztvíztartójának időbelisége, a későbbi vizsgálatokkal a pontos ok-okozati összefüggéseket is fel tudjuk térképezni.

Anyag és módszer

A célok eléréséhez a wavelet spektrum becslést tartottuk a legalkalmasabbnak, mivel a módszer időben és frekvenciában lokalizált, azaz hosszú idő-frekvencia felbontást tesz lehetővé. A vizsgált jel periodikus jellemzői meghatározhatók.

A wavelet transzformáció (WT) a Fourier-transzformáción alapuló dekompozíciós eljárás, amely a vizsgált idősort szinusz-koszinus hullámokra bontja. A WT alapvető funkciója a következő:

$$W_n(s) = \sum_{n=-1}^n X_n \Psi^* \left[\frac{(n' - n)\delta t}{s} \right] \quad (1)$$

ahol Ψ a hullámot, a csillag annak komplex konjugáltját, X_n az eredeti idősort, a skála, δt pedig a felbontás fokát jelöli. A wavelet függvények úgynevezett fő waveletekből állnak:

$$\Psi_{t,s}(t) = s^{-0,5} \Psi \left[\frac{(t - \tau)}{s} \right] \quad (2)$$

Az s skálaparaméter értéke határozza meg, hogy milyen széles a vizsgálóablak. A tesztekhez a természettudományokban leggyakrabban használt Morlet-waveletet

használtuk. A WSA elemzés peremfeltétele, hogy az egyenlő távolságú mintavétellel felvett idősor.

A teszt eredménye a wavelet spektrum, amely két független változó, az idő és a frekvencia függvénye. Megjelenítésére számos vizuális technika létezik, ilyen például az izovonalas diagram, amelynek színskálája a periodicitás meglétének valószínűségét jelzi. A meleg színek felé növekszik az adott időszak fennállásának valószínűsége, és 5%-os szignifikancia szinten fogadható el a vastag fekete vonallal határolt terület. Az ábra egy sraffozott részt, a COI-t (cone of influence) mutatja, a konfidenciaintervallum által befolyásolt területet (Garamhegyi et al., 2018).

A WSA a wavelet koherencia (WTC, wavelet transzformációs koherencia) alapja, amely az idődimenzió mellett a frekvenciaterben is képes együttmozgást mutatni két idősor között.

$$R_{x,s}(\tau, s) = \frac{|S(W_{x,y}(\tau, s))|}{\{S[|W_x(\tau, s)|^2]S[|W_y(\tau, s)|^2]\}^{0,5}} \quad (3)$$

ahol $W_{x,y}(\tau, s)$ és $R_{x,y}(\tau, s)$ kereszthullámok és hullámok koherenciája a τ időpontban transzformált, az x és y idősor közötti skálaparaméteren kívül az $S(-)$ simítófüggvénnyel. A hagyományos korrelációs eljárások és a WTC között van hasonlóság, így a megoldás időskálán lokalizált determinációs együttthatóként is értelmezhető. Ugyanakkor, bár a WTC erős koherenciát mutat, a korrelációs együtttható értéke alacsony lehet, mivel a periodikus összetevőknek mindkét idősorban jelen kell lenniük. Ezenkívül két ellentétes folyamat között a koherencia magas, míg a korreláció alacsony lesz. A WSA-hoz hasonlóan itt sem elhanyagolható a COI. Az eredményekhez megbízhatósági szint is rendelhető. Az egyszerűség kedvéért itt is 95%-os szintet választottunk. A módszer kiegészíthető az egyes frekvenciák közötti késleltetési struktúrával, az úgynevezett fáziskülönbség vizsgálatával is. A fáziskülönbség értéke a $(-\pi, \pi)$ közötti intervallumba eshet. Ha értéke megegyezik a szélső értékkel, $-\pi$ vagy $+\pi$, az tökéletes antifázisra utal, míg, ha a fáziskülönbség 0, akkor definíció szerint a két frekvencia tökéletes fázisban van egymással. A különböző esetek az alábbi ábrán láthatók.

A szélső értékek közül az egyik idősor „vezeti” a folyamatot, amely megfelelő szakmai értelmezéssel egy háttér folyamat kialakítását is segítheti.

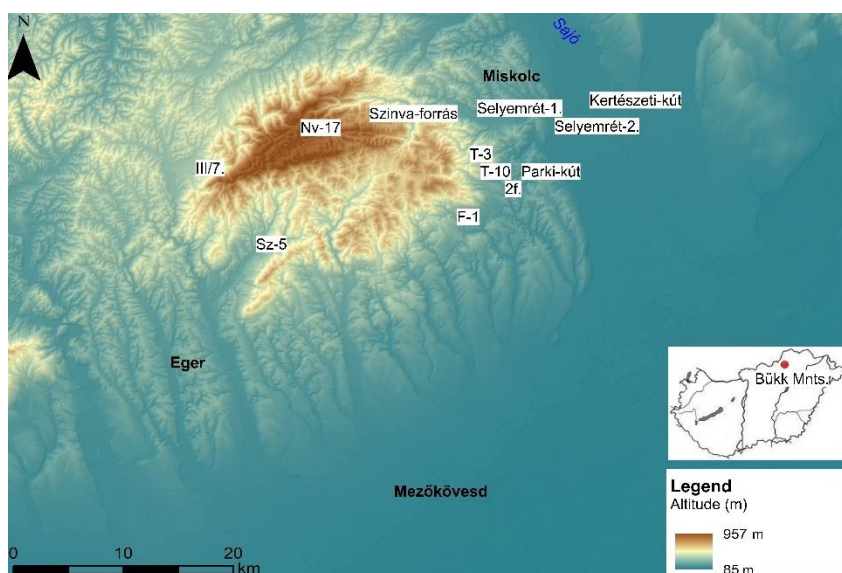
A vizsgálatokhoz a Bükki Karsztvízszint Monitoring Rendszer rendelkezésre álló adatait használtuk fel. Az alábbi 1. táblázat részletesen mutatja a bemeneti adatokat (1. ábra).

A vizsgálatokhoz napi, havi és éves adatok álltak rendelkezésre. A napi mért adatokból havi és éves átlagértékeket állítottunk elő, amelyeket tovább elemeztünk. Az eredményeket a következő fejezetben mutatjuk be.

1. táblázat A vizsgálathoz használt adatok főbb paraméterei

| Adatsor | Intervallum | Paraméter | Megjegyzés |
|---------------|---------------------------|-----------|------------|
| Bel III | 2008.07.08. – 2019.12.27. | vízszint | |
| Fe Sz5 | 2010.03.22. – 2019.12.27. | vízszint | |
| Mi Selyemrét2 | 2014.01.01. – 2023.04.01. | vízszint | |

| Adatsor | Intervallum | Paraméter | Megjegyzés |
|---------------|---------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| Mi_T3 | 2014.01.01. – 2023.04.01. | vízszint, hőmérséklet, vezetőképesség | |
| NV_17 | 1992.10.11. – 2023.05.04. | vízszint | |
| Mi_Kertészet | 2014.01.01. – 2023.04.01. | vízszint, hőmérséklet | |
| Mi_Parki | 2015.02.27. – 2023.04.01. | vízszint, hőmérséklet, vezetőképesség | 2015-2017; 2018-2023 |
| Mi_Selyemrét1 | 2013-2023 | vízszint | 2013-2015; 2016-2023 |
| Mi_2f | 2014.01.01 – 2023.03.04. | vízszint | |
| Mi_T10 | 2011.04.01. – 2023.03.31. | vízszint | 2011-2022; 2022-2023 |
| Mi_Szinva | 1994.05.12. – 2022.01.09. | vízszint | 1994-1999; 2002-2022 |
| KGy_F1 | 2006.10.06. – 2019.12.31. | vízszint | |



1. ábra A vizsgált kutak földrajzi helyei

Eredmények

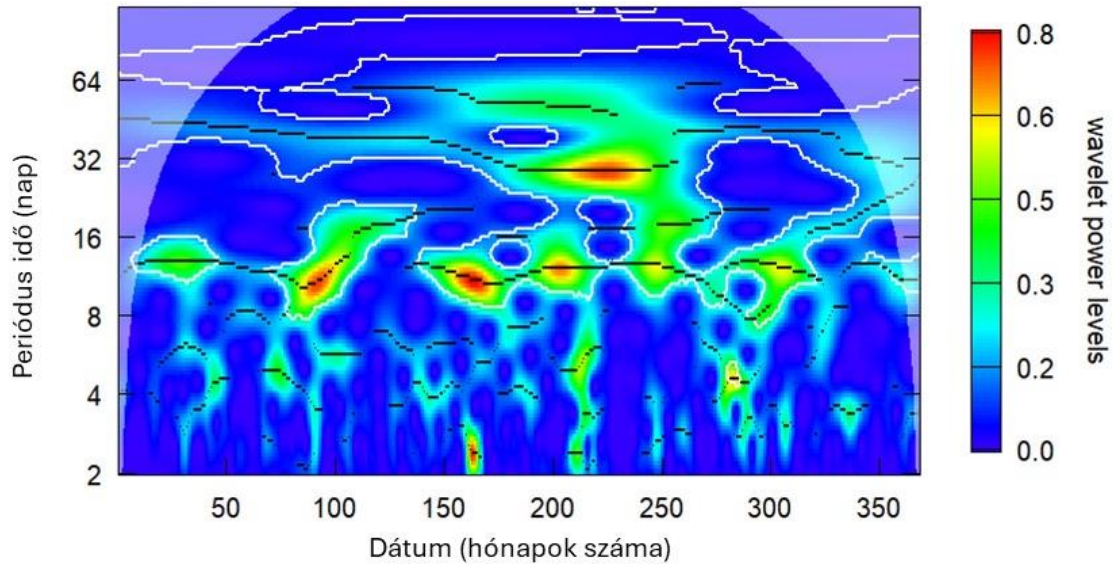
A BEL-III esetében szignifikáns 2,8 és 4 éves ciklusokat határoztunk meg, a vizsgált időszak nagy részében az F-SZ5-ben egy 1 és egy 1,5 éves, 7-8 hónapos ciklust, valamint egy nem jelentős 2 éves.

A Mi-Kertészet hőmérsékleti adatai nem mutatnak szignifikáns ciklust, valószínűleg kis vizsgált intervallum miatt, de 0,17, 0,7, 1 és 2 éves ciklust számoltunk. Vízállások esetén jelentős 0,2, 0,7, 1 és 2,5 éves ciklust számoltunk.

A Mi-Park kútban az adathiányos intervallum miatt 2 periódust használtam a számításokhoz. Egy 1 hónapos és számos más jelentős ciklust határoztunk meg, mint például a 1 és fél éves. Hőmérséklet esetén nem számoltunk szignifikáns ciklusokat. A

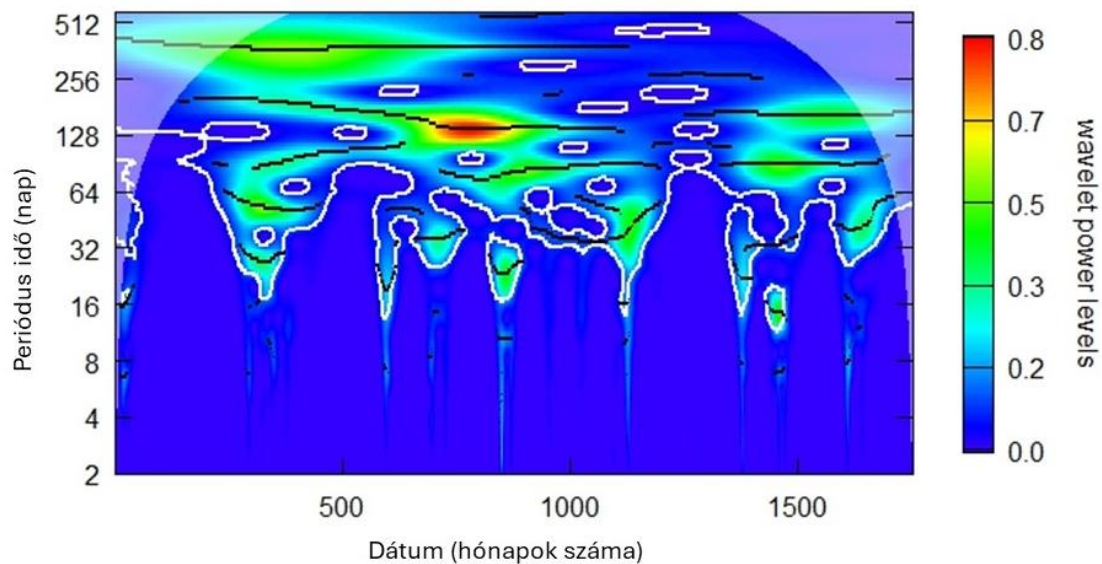
Mi-Park kút vezetőképességi mérései 0,3 és 0,2 éves periódusokat mutattak, valamint 1,5 éves periódusosságot.

A Selyemrét 1 és 2 kutakban 0,4, 0,5, 0,9 és 1 éves ciklusok vannak jelen. A legtöbb esetben ezek jelentősek, vagy erős hullámteljesítményűek.



2. ábra Az NV-17 havi vízszint adatainak wavelet képe

A Mi-Szinva adatsorok hosszú időintervallumúak, bár hiányzó adatokkal az első időszakban 3, 4-5, 7-8 és 12 hónapos ciklust mutattak, éves adatok felhasználásával erős 3 és 5 éves periódus volt. számított (3. ábra).



3. ábra A Szinva-forrás napi vízszint adatainak wavelet képe (1994-1999)

A T-10-es kútban 0,3, 0,7, 1, 1,5 és 2,5-3 éves ciklus található, bár szignifikánsan, a legtöbb nem volt meghatározható a teljes vizsgált időintervallumban.

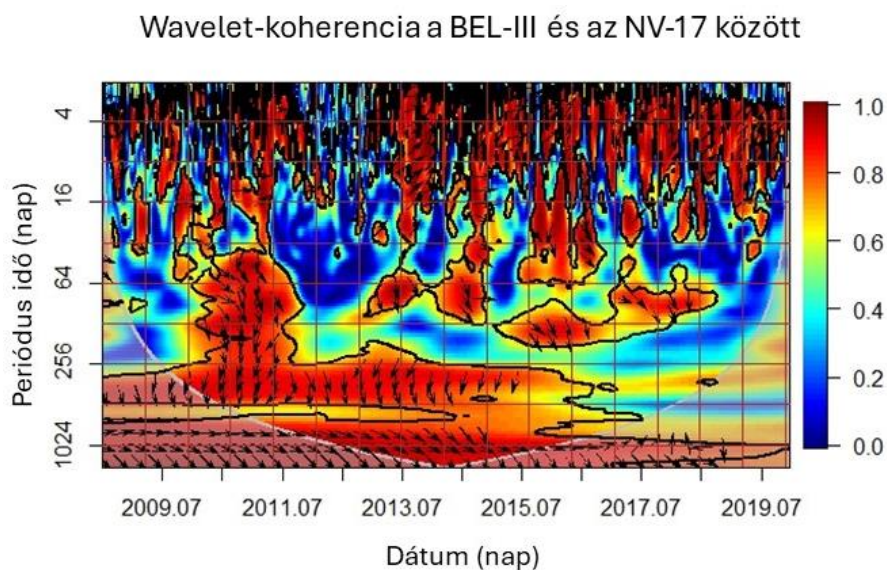
A Mi-2f kútban a szignifikáns ciklusok számát kisebb hullámteljesítményszintekkel számítottam ki. A számított ciklusok az 1,3, 2,5, 6 és 12 hónaposak, éves adatok felhasználásával csak az 1 éves ciklus volt szignifikáns.

Az NV-17, amely a karszt monitoring rendszer gerincét képezi, nagy intervallum állt rendelkezésre a számításokhoz. A napi adatsorokban a fél, 1 és 3 éves ciklus szerepelt, a haviban egy 2,5 éves és egy 3 év körüli periódus került meghatározásra (2. ábra).

A Mi-T3 hőmérsékleti adatok 0,3 és 1 éves periódusokat mutattak, de az éves grafikon azt mutatta, hogy még az 1 éves periódus sem volt jelen a teljes vizsgált időintervallumban. A vezetőképességi hullámok 0,7, 1, 1,5 és 2,6-3 éves periodicitást mutattak, de csak az időintervallum egy részében.

A vízállások csak 2,3-2,5 és 3 éves periódusokat mutattak, számuk 1 évnél rövidebb periódusokat.

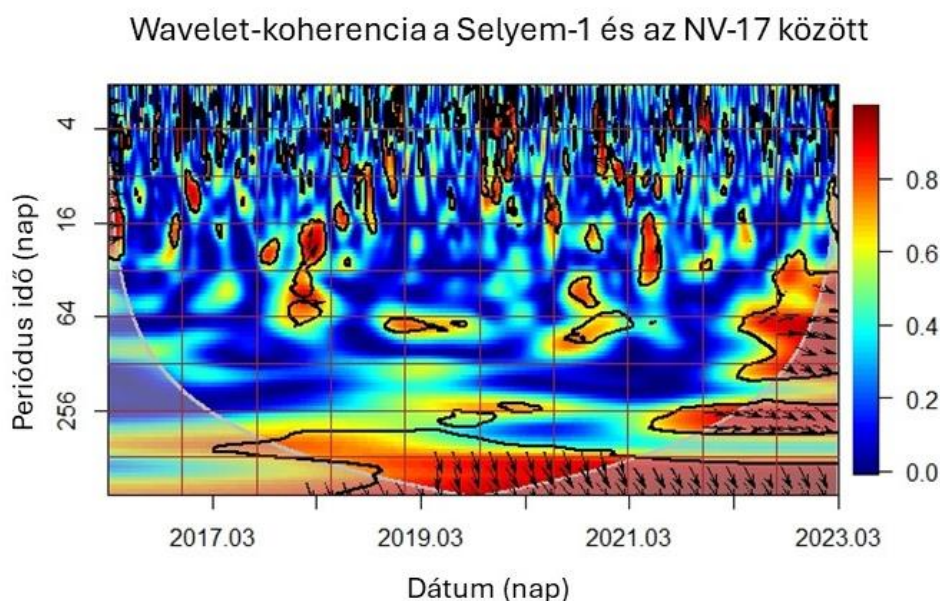
A bi-wavelet koherencia vizsgálatok eredményei jól mutatják, hogy az adatsorok mely periódusai voltak egymás mellett, és mikor jelent meg előbb-utóbb az adott ciklus a periodicitás szempontjából (4. ábra).



4. ábra BEL-III és NV-17 közötti wavelet-koherencia

Az első eredmények alapján a Selyemrét 1-2 és a Park kút adatsorával mutatható ki a legkisebb együttmozgás, míg a többi vizsgálati pont esetében több hosszú periódusú ciklus esetén vagy fázisban, vagy az egyik vezet a másik idősort (5. ábra). Az antifázis nem észlelhető.

A jövőben az extrém események jobb megértése érdekében ezeket az alaptanulmányokat hasonló elven működő elemzésekkel egészítjük ki, hogy a természetes és mesterséges hatásokat ki tudjuk szűrni, az éghajlati alkalmazkodás elősegítése érdekében.



5. ábra Selyem-1 és NV-17 közötti wavelet-koherencia

Összefoglalás

A Bükk-hegység létfontosságú szerepet tölt be a térség különböző vízszükségleteinek kielégítésében, így a tárolt karsztvíz viselkedésének vizsgálata elengedhetetlen a fenntartható vízgazdálkodáshoz.

Kutatásunk során a Bükki Karsztvízszint Monitoring Rendszer által mért hosszú távú adatokat használtuk fel, hogy azokat statisztikai módszereken alapuló periodicitási vizsgálatnak vessük alá. A cél a karsztvízszintek, vízhőmérséklet és vezetőképesség mérések adataiban ciklikus komponensek felkutatása volt, a hagyományos determinisztikus eljárások mellett a wavelet analízis módszertanával.

Az eredmények több szignifikáns ciklust mutattak ki különböző vízszint-, hőmérséklet- és vezetőképesség-mérésekben, bizonyítva, hogy ezek a paraméterek erős periodicitást mutatnak. Ezeket az első eredményeket a jövőben tovább kell vizsgálni annak érdekében, hogy meghatározzuk a ciklusok mögött meghúzódó okokat, és hogy melyek azok a fő tényezők, amelyek meghatározzák a karsztvízszintek jellegét, valamint a változó éghajlat hatásainak felkutatását és a karsztvízszintekre gyakorolt hatását. a Bükk-hegység talajvizei.

Vizsgálataink első eredményei révén jobban ismertté válik a Bükk-hegység karsztvíztartójának időbelisége, a későbbi vizsgálatokkal a pontos ok-okozati összefüggéseket is fel tudjuk térképezni.

Köszönetnyilvánítás

A cikkben bemutatott kutatás a Széchenyi Terv Plusz program keretében az RRF-2.3.1-21-2022-00008 számú projekt támogatásával valósult meg.

Felhaszált irodalom

- Darabos E., Tóth M. (2022.) Karsztvízkészlet meghatározási módszer fejlesztései a Bükkben. *Hidrológiai Közlöny*, 102(4): 37-43.
- Garamhegyi T., Kovács J., Pongrácz R., Tanos P., Hatvani I.G. (2018) Investigation of the climate-driven periodicity of shallow groundwater level fluctuations in a Central-Eastern European agricultural region. *Hydrogeology Journal*, 26: 677-688. <https://doi.org/10.1007/s10040-017-1665-2>
- Ilyés Cs., Turai E., Szűcs P. (2018): Examination of rainfall data for 110 years using spectral and wavelet analysis. *Central European Geology*, 61(1): 1-15. <https://doi.org/10.1556/24.61.2018.01>
- Lénárt, L. (2023): A Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR) történetének, felépítésének, műszerezettségének, adatmennyiségének áttekintő összefoglalása. In: *Magyar Hidrológiai Társaság XL. Országos Vándorgyűlése 2023.07.05.* Győr. MHT
- Miklós R., Lénárt L., Darabos E., Kovács A., Pelczéder Á., Szabó N. P., Szűcs P. (2020): Karst water resources and their complex utilization in the Bükk Mountains, northeast Hungary: an assessment from a regional hydrogeological perspective. *Hydrogeology Journal*, 28: 2159-2172. <https://doi.org/10.1007/s10040-020-02168-0>

ELÉRÉSI IDŐ MEGHATÁROZÁSA PARTI SZŰRÉSŰ RENDSZEREK PÉLDÁJÁN

TRANSIT TIME DETERMINATION ON THE EXAMPLE OF RIVERBANK FILTRATION SYSTEM

Nyiri Gábor¹, Szűcs Péter², Zákányi Balázs³

¹tudományos munkatárs, Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar, 3515 Miskolc, Egyetemváros

²egyetemi tanár, az MTA levelező tagja, Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar, 3515 Miskolc, Egyetemváros

³egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar, Víz- és Környezetgazdálkodás Intézet 3515 Miskolc, Egyetemváros

* gabor.nyiri1@uni-miskolc.hu

Összefoglaló

Tanulmányunkban a vízbiztonság egyik fontos paraméterével, az elérési idő vizsgálatával foglalkozunk. Parti szűrésű rendszerek esetén ez az érték megmutatja, hogy a folyótól mennyi idő alatt ér el a termelőkhöz a víz. Ezen érték meghatározására sokféle módszer ismert az izotóphidrogeológiai vizsgálatoktól a numerikus modellezésig. A parti szűrésű rendszerek hidraulikájának nagyfokú változékonysága, valamint a kút kialakítás sajátosságai miatt ezen érték meghatározása nem magától értetődő. Kutatásunk során a numerikus modellezés eszköztárát használtuk. A Modflow, valamint a Modpath programok segítségével vízrészecskék elérési idejét, valamint azok eloszlását határoztuk meg. Permanens modell segítségével vizsgáltuk továbbá azt, hogy a kút kialakítás, a termelt hozam változása milyen módon változtatja ezen elérési idő eloszlás görbéket. Az eloszlások jellemző értékeinek (minimum, medián) változását is nyomon követtük. Elmondható, hogy ezen eloszlási görbék használatával pontosabb képet kaphatunk az elérési idő értékéről. Kutatásunk az ásványvíz, illetve gyógyvíz termelés esetében is más típusú szemléletet adhat, amely a vízbiztonságot segítheti.

Kulcsszavak: parti szűrés, elérési idő, csáspos kút, galéria, Modflow, Modpath

Abstract

In our study, we deal with one of the most important parameters of water safety, the investigation of access time. In the case of riverbank filtration (RBF) systems transit time shows how long it takes for the water to reach the production well from the river. Various methods are known for determining this value, from isotope hydrogeological studies to numerical modeling. The determination of this value is not self-evident due to the high degree of variability of the hydraulics of RBF systems, as well as the peculiarities of the well design. During our research, we used the tool of numerical modeling. With the help of the Modflow and Modpath programs, we determined the transit time of water particles and their distribution. With the help of a permanent model, we also investigated how well design, changes in flowrate influence these transit time distribution curves. We also monitored the changes in the characteristic values (minimum, median) of the distributions. It can be said that by using these distribution curves, we can get a more accurate picture of the value of the transit time. Our research can also provide a different type of approach in the case of mineral water and medicinal water production, which can help water safety.

Keywords: riverbank filtration, transit time, horizontal collector well, gallery, Modflow, Modpath

Bevezetés

Munkánkban a víztermelés egyik fontos paraméterével, az elérési idővel foglalkozunk. Ez az érték megmutatja, hogy adott helyről mennyi idő alatt ér el a víz a termelő műtárgyig. Ezen érték vizsgálatát parti szűrésű rendszerek esetében mutatjuk be, azonban ezen érték rendhagyó módon történő vizsgálata plusz szemponokat adhatnak akár az ásványvíz-, illetve gyógyvíztermelés kérdésköréhez is. A parti szűrés jelentőségét mutatja, hogy ivóvízellátásunk nagyjából 35-40 %-ban támaszkodik ilyen típusú vízbázisokra Magyarországon, amelynek főbb vízkivételi műtárgyai között említhetjük a kutakat, a galériákat, valamint a csápos kutakat (Hu és társai 2016, Maeng és Lee 2019). Ezen műtárgyak megfelelő eszközök arra, hogy a parti szűrésű vízadókra jellemző jó hidraulikai adottságokkal rendelkező vízadókból nagy mennyiségű vizet termeljenek. A parti szűrés hidrogeológiai körülményei (kút kialakítás, termelt hozam változása stb.) ezt a paramétert erősen változékonnyá teszik. Kutatásunk során a termelt hozam elérési időre gyakorolt hatását vizsgáljuk.

Alkalmazott módszer

A vízföldtani kutatások egyik leggyakrabban alkalmazott numerikus modellezési eszköze a véges differencia módszer. A módszer sajátossága, hogy a vizsgált térrészt egy rácshálóval osztjuk fel, és a rácsháló elemeiben számítjuk a vízforgalmat. Az elemek egymáshoz hézagmentesen csatlakozó téglatestek. Minden egyes elemre összegezzük a vízmérleg-elemet, majd összegezve a vízmérleg-elemeket meghatározzuk a modellezett tér vízforgalmát (Kovács 2004). Munkánk során a Groundwater Modeling System (GMS) modellezési környezetet használtuk, amely alkalmazza a Modflow programot. A kutak, valamint a galériák hidrodinamikai szimulációja a Modflow környezetben rutinszerű a hidrogeológiai kutatásban. A csápos kutak esetében a nehézséget a vízszintesen, sugarasan elhelyezkedő szűrőcsövek okozzák, amelyre megoldást nyújt a Revised Multi-Node Well csomag. A Modflow Revised Multi-Node Well (MNW2) modulja többek között vízszintesen, vagy ferdén fűrt kutak modellezésére lett kifejlesztve. Az MNW2 csomag használatakor a felhasználó a kút karakterisztikáját, geometriáját könnyebben tudja definiálni (Konikow és társai 2009).

Habár ezen modul a vízszintesen, illetve ferdén fűrt kutak hidraulikai modellezésére lett kifejlesztve igen hatékonyan alkalmas csápos kutak hidraulikai modellezésére is (Nyiri és társai 2019, Székely és társai 2021).

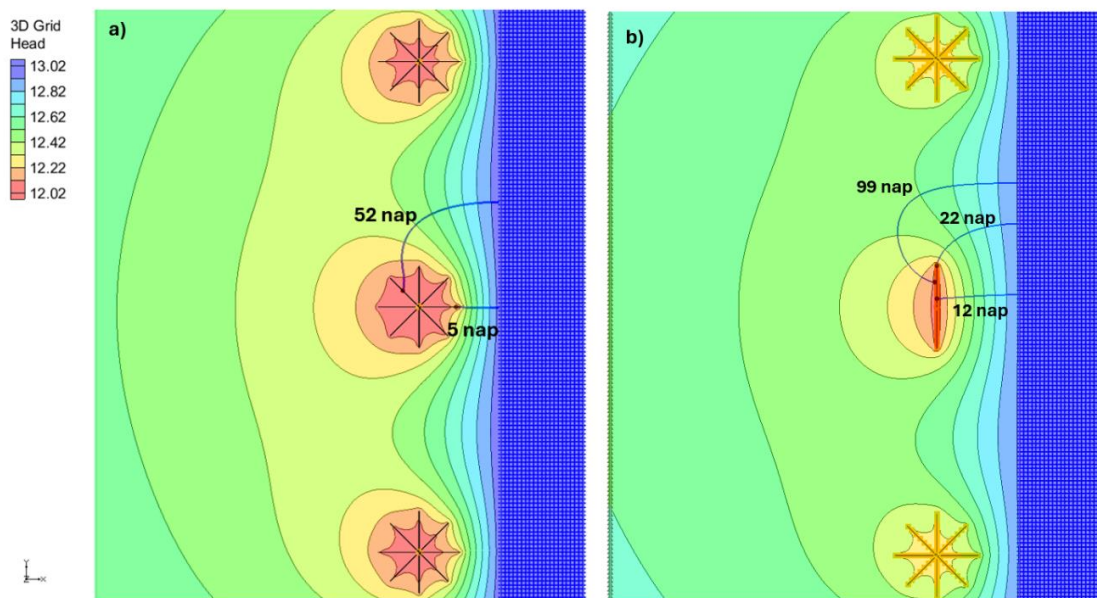
Az elérési idő vizsgálatához, a Modpath részecskekövető programot alkalmaztuk, amely a Modflow programmal együtt használható (Pollock 2016). Munkánkban a kúttól indított vízrészecskéket az áramlással ellentétes irányban követtük, így meghatározva az elérési idő értékét (Molson és Frind 2012).

Elérési idő vizsgálata a hozam változtatásának függvényében

Parti szűrésű rendszerek esetében elérési időnek azt az időtartamot értjük, ami alatt a folyóból a termelőkútig a víz eljut. Az elérési idő meghatározásának számos módja ismert.

Ismertek azok a módszerek, amelyek a víz valamilyen kémiai, vagy fizikai tulajdonságának vizsgálata alapján történnek és valamilyen terepi méréshez, illetve vízmintavételi tevékenységhez kötődnek. Ezek esetében fontos, hogy olyan paramétert válasszunk, amely nem, vagy csak kismértékben változik az idő alatt, amíg a víz a termelőkútig eljut. Ilyen módszer például a hőmérsékleten alapuló vizsgálat. Ennek lényege, hogy a folyó hőmérsékletváltozásában megjelenő maximumokat, illetve minimumokat megpróbáljuk detektálni a termelt víz hőmérséklet idősorában. Az idősorok szélsőértékeinek időbeli távolságából becslést tudunk adni az elérési idő értékére (Nagy-Kovács és társai 2019, Hoehn és Cirpka 2006). A fent említett módszerek jellemzője, hogy egy jól behatárolható időtartományt – adott esetben egy pontos nap értéket – adnak meg. Ezen módszereket viszont nagyban befolyásolhatja a mintavételi időköz. Jellemzőjük továbbá a hőmérséklet vizsgálatához hasonlóan, hogy főként az adott kémiai vagy fizikai változások szélsőértékeinek eltolódását vizsgálja.

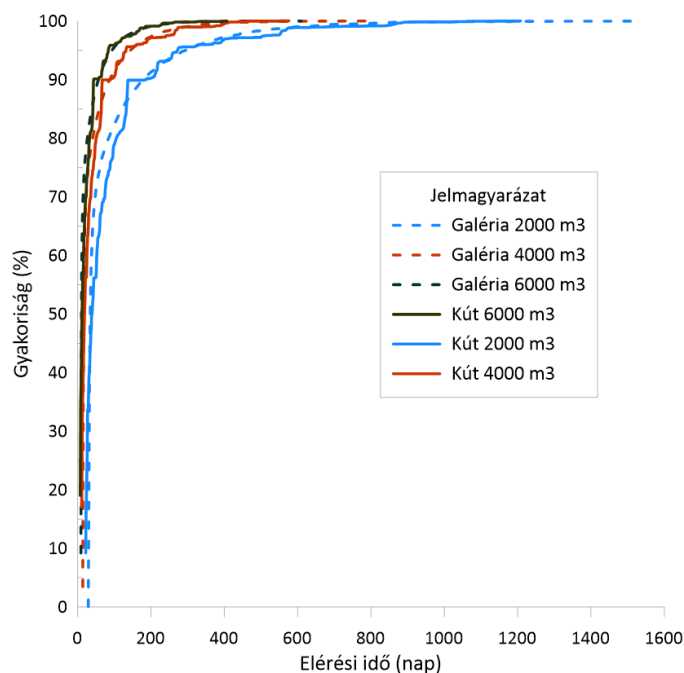
Ezen módszerek mellett természetesen megjelenik a számítógépes modellezés, amely egy jól kalibrált modell esetén ugyancsak jó becslést tud adni az elérési idő értékére. Ha a modellezés eszközt használjuk, akkor a részecskekövetés egyik fontos lépése, hogy eldöntsük, hogy a vizsgálni kívánt vízrészecskét honnan indítsuk. Különösen fontos kérdés ez csápos kutak esetében, ahol is a csápok különböző irányban, hosszban és magasságban történő kihajtása miatt a szűrőfelület vízszintesen orientált, több irányban kinyúló hengerpalásttal közelíthető. Ebből adódóan egy adott időpillanatban a folyóból a vízadó rétegbe belépő vízrészecskék más-más időpontban érik el a csápokat. Lesz olyan vízrészecske, ami hamar odaér a csáphoz, és lesz olyan, ami hosszabb időt tölt a vízadó rétegben (1. ábra)



1. ábra Vizrészecskék különböző elérési idővel csápos kút (a) és galéria (b) esetében

Egy adott víztermelő műtárgy tervezésénél cél lehet az, hogy a kút kis mértékben, vagy egyáltalán ne termeljen a háttérből, viszont meglegyen a folyótól való megfelelő távolság annak érdekében, hogy a parti szűrésre jellemző vízminőségi változások a megfelelő idejű elérési idő megtartásával végbe menjenek. Elmondható, hogy alacsony elérési idő esetén a tisztítási hatások lecsökken, míg túl magas elérési idő esetén a kialakuló redox körülmények miatt vízkémiai probléma adódhat a termelt vízben (Schivjen és társai 2002, Teng és társai 2018). Mindezen okok miatt fontos, hogy lehetőleg pontos képet kapjunk az elérési idő értékéről. Ennek érdekében az általunk vizsgált kúttípusok esetében nem egy, hanem a kutakat definiáló cellánként 125 db vízrészecskét indítottunk és az elérési idő értékét valószínűségi változóként kezeltük. Minden egyes vízrészecskére meghatároztuk az elérési idő értékét és meghatároztuk azok eloszlását. Ennek eredményeképpen egy kúthoz egy elérési idő eloszlást kaptunk, amely megmutatja, hogy az adott „korú” víz milyen arányt képvisel a termelt vízben. Ezt a módszert alkalmazva három parti szűrésű rendszerben alkalmazott kúttípust vizsgáltunk, egy hagyományos függőleges kutat, egy galériát, illetve egy csápos kutat. A célunk ezzel az volt, hogy összehasonlítsuk a különböző műtárgyakhoz tartozó elérési idő eloszlásokat különböző hozamok esetében.

A számításokhoz használt modell felépítését jellemzi, hogy a modellterület szélessége 600 m, hosszúsága 1200 m, vastagsága 15 m. A cellák mérete 5 m x 5 m. A modell keleti oldalán egy folyó adta a határt, míg a nyugati oldalon GHB (General Head Boundary) típusú peremfeltételt adtunk meg. Az északi és déli perem vízzáró. A parti szűrésű rendszerekre jellemző, hogy nem egy darab műtárgy biztosítja a vízkivételt, hanem egy kútsor. Ennek megfelelően három víztermelő műtárgyat építettünk be a modellbe annak érdekében, hogy ez a körülmény teljesüljön. A modellterületen mindegyik esetben két csápos kút között egy harmadik víztermelő műtárgy található, amelyre vizsgálatunk irányul. Fontos megjegyezni, hogy vizsgálatunk a két szélső kutat nem érinti, azok szerepe csupán annyi, hogy a közepeső, vizsgált kutat egy kútsor részeként tudjuk tekinteni. A modellben szereplő csápos kút 50 m hosszú és 0,15 m sugarú csápokkal rendelkezik. A vizsgált galéria 100 m hosszú és 0,15 m sugarú, míg a vizsgált csőkút 5 m hosszán szűrődött a vízáadó rétegben. Mindhárom vizsgált műtárgy hozamát változtattuk a számítás során, amely 2000, 3000, 4000, és 5000 m³/nap értékűnek választottunk. A modellek steady state, vagyis időben állandó állapotot mutatnak. A modellezett terület homogén, izotróp. A modellfuttatás eredményeként elsőként egy vízszinteloszlást kaptunk, majd a vízrészecskék számolt áramlási pályáit is megjelenítettük. Következő lépésként a különböző víztermelő műtárgyakhoz tartozó elérési idő eloszlásokat számoltuk ki. A kút és a galéria esetében nagy hasonlóságot tapasztaltunk minden hozam esetében. Az elérési idő eloszlásokat az 2. ábra mutatja. A 2. ábrán látható, hogy az elérési idő eloszlás görbe egy logaritmikus jelleget mutat és a kút, illetve a galéria esetében gyakorlatilag megegyeznek. Ez a geometriai elrendezésre vezethető vissza. Elmondható, hogy radikálisan nem befolyásolja az elérési idő eloszlást az, hogy a víztermelést biztosító perforált cső vízszintesen vagy függőlegesen van elhelyezve. Galéria és függőleges kút esetében ugyanaz az elérési idő eloszlás tapasztalható. A hozam növekedésével a görbék meredeksége kismértékben növekszik, maximumaik pedig radikális csökkenést mutatnak.

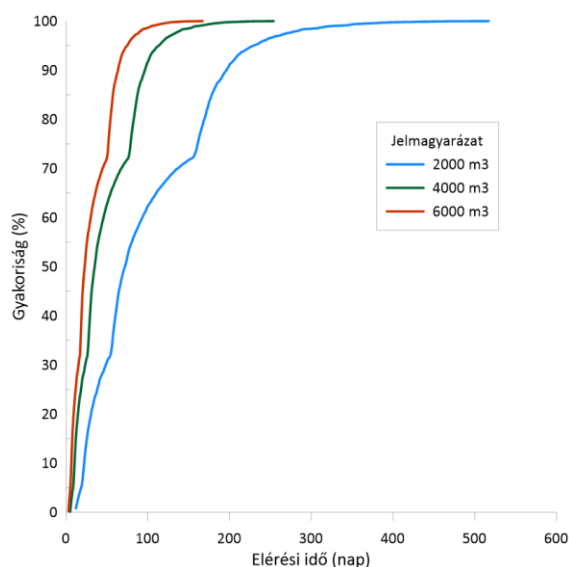


2. ábra Kúthoz és galériához tartozó elérési idő eloszlások különböző hozamok esetén

Vizsgálataink során csápos kút esetében is meghatároztuk az elérési idő eloszlást több hozam értékre vonatkoztatva. Az eredményeket három hozam érték esetében a 3. ábra mutatja. Az ábrán látható, hogy a galéria, illetve a kút esetétől eltérően máshogy futnak le az eloszlási görbék. A görbe egésze logaritmikus jelleget mutat, azonban ez a jelleg nem egyenletes. A teljes görbén belül négy „részgörbét” láthatunk, amely a csápos kút geometriai kialakítására vezethető vissza. Egy-egy görberész egy-egy csáp pár hatását mutatja, így a szimmetrikus kialakítás miatt adódik a négy görberész. Jellemző még az eloszlási görbére, hogy a hozam növelésével a görbe meredeksége növekszik, ami azt jelenti, hogy a görbe két szélsőértéke közötti különbség csökken. Ez azt jelenti, hogy a hozam növelésével a kút kisebb időtartományból származó vizet termel.

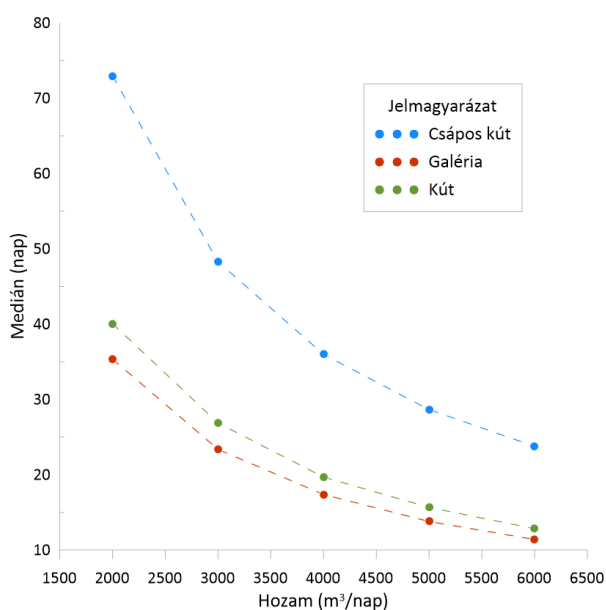
A számolt elérési idő eloszlás görbék által tehát pontosabb képet kaphatunk a parti szűrésű rendszerben tapasztalható elérési időről. Egy eloszlási görbe meg tudja nekünk mondani a termelt vízről, hogy adott nap alatt a termelt víz hány százaléka ért a folyóból a termelőkúthoz.

Fontos kérdés azonban, hogy ezeket az eloszlási görbéket jellemezzük egy jellemző elérési idő értékkel. Mivel az elérési idő nagy intervallumok között mozoghat (néhány naptól akár több száz nap) a gyakorlat számára fontos adnunk egy irányszámot, ami jellemzi az elérési idő eloszlást. A kapott eloszlási idő értékek nagy intervallumára való tekintettel a görbék mediánját javasoljuk irányzámmá megadni. Az elérési idő eloszlási görbe mediánja megmutatja, hogy a termelt víz 50%-a milyen elérési idő értékkel jellemezhető. Az eloszlási görbék mediánját meghatároztuk mindegyik hozam érték és kúttípus esetében.



3. ábra Csápos kúthoz tartozó elérési idő eloszlási görbék különböző hozamok esetén

Az eredményeket a 4. ábra mutatja. Megállapítható, hogy a csápos kút esetében alapvetően magasabb elérési idő értékek figyelhetők meg, mint a galéria esetében. Ennek oka a vízkivételbe bevont térrész nagyságának különbsége. A galéria esetében kisebb ez a térrész, kevesebb szűrőfelület áll rendelkezésre, ezáltal nagyobb depresszió alakul ki. A nagyobb depresszió nagyobb hidraulikus gradiens értéket vonz magával, ezért a szivárgás sebessége megnő. Csápos kút esetében viszont ez a beáramlási felület nagyobb, így kisebb depressziót okoz a vízadó rétegben. Megállapítható továbbá, hogy a hozam növekedésével az elérési idő eloszlási görbe mediánja logaritmikus csökkenést mutat.



4. ábra Az elérési idő eloszlási görbék mediánjának változása a termelt hozam függvényében

Összefoglalás

Munkánkban egy fontos hidrogeológiai paraméterrel, az elérési idővel foglalkoztunk. Tanulmányunkban a parti szűrésű rendszerekben vizsgáltuk ezt a paramétert. Nem hagyományos módon, a részecskekövetést alkalmazva elérési idő eloszlás görbéket határoztunk meg három műtárgytípus esetében. Főbb eredményeink az alábbiakban foglalhatók össze:

- Az elérési idők közötti különbség több nagyságrend is lehet. Célszerű lehet tehát az elérési idő valószínűségi alapon történő kezelése, annak érdekében, hogy pontos képet kapjunk az elérési idő értékéről. Eloszlási görbék felvételével meghatározhatjuk, hogy egy adott korú víz milyen arányban vesz részt a termelt víz összetételében.
- Az eloszlási görbék logaritmikus jelleget mutatnak.
- Az eloszlási görbék jellemzésére azok mediánját célszerű használni annak érdekében, hogy a jellemző számérték ne legyen érzékeny a szélsőértékek (különösen a maximum) nagymértékű eltérésére, valamint a modellezett időszak hosszára.

Az elérési idő nem hagyományos kezelése nem csak a parti szűrésű rendszerekben lehet fontos kérdés, hanem más típusú vízbázisok esetében is, ahol az általunk vázolt megközelítés további kutatási irányokat adhat.

Köszönetnyilvánítás

A Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-23-4-II-ME/5 kódszámú Új Nemzeti Kiválósági Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

Felhasznált irodalom

- Hu B., Teng Y., Zhai Y., Zuo R., Li J., Chen H. (2016). Riverbank filtration in China: A review and perspective, *Journal of Hydrology* 541 pp. 914-927.
- Konikow L.F., Hornberger G.Z., Halford K.J., Hanson R.T. and Harbaugh A.W. (2009). Revised multi-node well (MNW2) package for MODFLOW ground-water flow model. *Techniques and Methods 6–A30*. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, 67 p.
- Kovács B. (2004) Hidrodinamikai és transzportmodellezés I. (Processing Modflow környezetben), Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Szegedi Tudományegyetem, Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék, GÁMA-GEO Kft. ISBN 963 661 636 1
- Maeng S. K., Lee K-H., (2019) Riverbank Filtration for the Water Supply on the Nakdong River, South Korea, *Water*, 129, doi:10.3390/w11010129
- Molson J. W., Frind E. O. (2012) On the use of mean groundwater age, life expectancy and capture probability for defining aquifer vulnerability and time-of-travel zones for source water protection, *Journal of Contaminant Hydrology*, 127 pp. 76-87. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2011.06.001>
- Nagy-Kovács Zs., Davidesz J., Mártonné Czihát K., Till G., Fleit E., Grischek T. (2019). Water quality changes during riverbank filtration in Budapest, Hungary, *Water*, 302, pp. doi:10.3390/w11020302

- Nyiri G., Székely, F., Zákányi B., Szűcs P. (2019). Horizontális és csápos kutak hidraulikai modellezése különböző számítási eljárások segítségével, *Hidrológiai Közlöny*, 99(4). 35-41.
- Pollock, D.W., (2016). User guide for MODPATH Version 7—A particle-tracking model for MODFLOW: U.S. Geological Survey Open-File Report 2016–1086, 35 p., <http://dx.doi.org/10.3133/ofr20161086>.
- Székely F., Nyiri G., Szűcs P., Zákányi B. (2021). Analytically supported numerical modeling of horizontal and radial collector wells, *Journal of Hydrologic Engineering*, 26(12).
- Schijven J. F., Hassanizadeh S. M., Bruin H. A. M. (2002) Column experiments to study nonlinear removal of bacteriophages by passage through saturated dune sand, *Journal of Contaminant Hydrology* 58(3-4) pp. 243-259. [https://doi.org/10.1016/S0169-7722\(02\)00040-2](https://doi.org/10.1016/S0169-7722(02)00040-2)
- Teng Y., Hu B., Zheng J., Wang J., Zhai Y., Zhu C. (2018) Water quality responses to the interaction between surface water and groundwater along the Songhua River, NE China, *Hydrogeology Journal*, 26 (5) pp. 1591-1607. doi: 10.1007/s10040-018-1738-x

A ROMÁNIAI PALACKOZOTT ÁSVÁNYVIZEK OSZTÁLYOZÁSA

CLASSIFICATION OF ROMANIAN BOTTLED MINERAL WATERS

Bodor Katalin^{1,2*}, Bodor Zsolt^{1,3}, Szép Alexandru², Szép Róbert^{1,3},
Keresztesi Ágnes¹, László Szilvia³, Szilágyi József², Tamási Borbála^{1,4},
Bartos Hunor^{1,3}

¹Vadgazdálkodási és Hegyvidéki Erőforrások Kutatási és Fejlesztési Intézet, Haladás utca, 35B,
530240,

²Sapientia Erdélyi Magyar tudományegyetem, Csíkszeredai Kar, Élelmiszertudományi Tanszék,
Szabadság Tér, 1, 530104, Csíkszereda, Románia

³Sapientia Erdélyi Magyar tudományegyetem, Csíkszeredai Kar, Biomérnöki Tanszék,
Szabadság Tér, 1, 530104, Csíkszereda, Románia

⁴Pécsi Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Kémiai Doktori Iskola, Ifjúság utca.6,
7624, Pécs Magyarország

*bodorkatalin@uni.sapientia.ro

Összefoglaló

Kutatásunk során 53 romániai ásványvíz ionösszetételét gyűjtötték össze és elemeztük a gyártók által megjelölt kémiai összetétel alapján. A kationok közül: kalcium, magnézium, nátrium, kálium, az anionok közül pedig: hidrogénkarbonát, klór, szulfát koncentrációit vizsgáltuk, valamint az össz ásványi anyag tartalmat 180 °C-on. A Spearman-korreláció alapján, a Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, jelentős pozitív korrelációt mutatnak a bikarbonáttal (0,90; 0,83 és 0,75). A palackozott vizek ásványianyag-tartalma széles spektrumban változott. A vizsgált ásványvizeknél az átlagos Ca²⁺/Mg²⁺ arány 3,6-5,7 között alakult. A szárazanyag-tartalom alapján az alacsony, közepes és magas oldott ásványi anyaggal rendelkező ásványvizek eloszlása 43,9%, 41,46% és 14,63% volt. Az ionösszetétel szerint, mint ahogy a Piper Plot összetétel diagram is bizonyítja, az ásványvizek 34%, 26,4%, 24,5% és 18,9% bikarbonátos-, kalciumos-, magnéziumos- nátriumos-vizek közé sorolhatók. A hierarchikus klaszterelemzésből (HCA) két különböző klasztert és öt alcsoportot különböztethetünk meg. A palackozott vizek kémiai összetételében mutatkozó különbségek elsősorban az ásványvízlelőhely geológiai felépítésének, a vulkanikus utótevékenységeknek és a tartózkodási időnek tulajdoníthatók be.

Kulcsszavak: palackozott ásványvíz, ásványi anyag tartalom, maradék ásványi anyag tartalom

Abstract

In the present study, the ionic composition of 53 mineral water brands from Romania was collected and analyzed based on the chemical and mineral content indicated by the manufacturers. The selected chemical parameters were, from the cations: calcium, magnesium, sodium, potassium, from the anions: bicarbonate, chloride, sulfate as well as fixed residue at 180 °C. Spearman correlation analyses revealed that, Ca²⁺, Mg²⁺, and Na⁺ show significant positive

correlations with bicarbonate (0.90, 0.83, and 0.75, respectively). The mineral content of bottled waters varied widely. In the studied mineral waters, the average $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ ratio ranged from 3.6 to 5.7. Based on the fixed residue, the distribution of low, medium, and rich mineralized water was 43.9%, 41.46% and 14.63%, respectively. According to the ion composition, as evidenced by the Piper Plot composition diagrams, mineral waters can be categorized as 34% bicarbonate, 26.4% calcium, 24.5% magnesium, and 18.9% sodium waters. From the Hierarchical Cluster Analysis (HCA), two different clusters and five sub-clusters were identified. Differences in the chemical composition of the bottled waters are mainly due to the geological structure of the mineral water sources, volcanic after-activities and residence time.

Keywords: *bottled mineral water, mineral content, fixed residue*

NŐGYÓGYÁSZATI BETEGSÉGEK KOMPLEX BALNEO-FIZIOTERÁPIÁS KEZELÉSI LEHETŐSÉGEI HARKÁNYBAN

COMPLEX BALNEO-PHYSIOTHERAPEUTIC TREATMENT OPTIONS FOR GYNAECOLOGICAL DISEASES IN HARKÁNY

Hidvégi Rebeka^{1,*}, Ambrus Eszter Krisztina¹, Csengeri Kata¹,
Kovács Viktória¹, Szigeti Katalin¹

¹Pécsi Tudományegyetem Klinikai Központ Harkányi Termál Rehabilitációs Kórház
*hidvegi.rebeka@pte.hu

Összefoglaló

A női kismedencében kialakuló krónikus nőgyógyászati megbetegedések az élet valamennyi területére vonatkozóan negatív hatással vannak; befolyásolhatják az érintett nők családi-, személyes kapcsolatait, a szexuális életet, a munkavégzést, valamint a társadalmi szerepeket. A Harkányi Termál Rehabilitációs Kórházban a nőgyógyászati megbetegedések balneo-fizioterápiás kezelése széles terápiás palettán valósul meg. A rehabilitációs tevékenység a bizonyítottan gyógyhatású harkányi kénes, carbonyl-sulfidos gyógyvizre épül. A kórházban végzett konzervatív nőgyógyászati kezelések fő indikációs területei közé tartozik a meddőség, az endometriózis, a krónikus kismedencei fájdalom és gyulladás, a vizelet-, széklet tartási problémák, a különböző nőgyógyászati süllyedései kórképek, a menopauzával összefüggő másodlagos jellegű elváltozások, valamint a nőgyógyászati műtétek utáni állapotok, a szülést követő kismedencei elváltozások. A nőgyógyászati panaszokkal érkezők számára összesen 8 féle kezelés érhető el, amelyek -átlagosan 21 napos- fekvőbeteg ellátás keretein belül vehetőek fel. A terápiás eljárások közé tartozik a gyógyvizes kádfürdő, az iszapkezelés, az egyéni gátizom és kismedencei torna, a csoportos gyógytorna, a gyógy-, és hasi masszáz, valamint a bemer terápia. Ezen kívül a páciensek számára igény esetén elérhető a pszichológiai konzultáció és a dietoterápia is. Az előadás célja bemutatni a harkányi kénes gyógyvíz felhasználásának lehetőségeit a női egészség megőrzésére irányulóan és a nőgyógyászati betegségek kezelése során elért eredményeket.

Kulcsszavak: harkányi kénes gyógyvíz, balneo-fizioterápia, nőgyógyászat

Abstract

Chronic gynaecological diseases in women have a negative impact on all aspects of life; they can affect women's family and personal relationships, sex life, work and social roles. At the Kharkany Thermal Rehabilitation Hospital, balneo-physiotherapy treatment of gynaecological diseases is provided through a wide range of therapies. The rehabilitation activities are based on the proven therapeutic effects of the Harkány sulphuric, carbonyl sulphide thermal water. The main indications for conservative gynaecological treatment in the hospital include infertility, endometriosis, chronic pelvic pain and inflammation, urinary and faecal retention problems, various gynaecological subsidence pathologies, secondary menopausal lesions, post-operative gynaecological conditions and post-partum pelvic lesions. A total of 8 types of treatment are

available for people with gynaecological complaints, which can be received in in-patient care for an average of 21 days. Therapeutic procedures include therapeutic hot tub baths, mud therapy, individual gait and pelvic exercises, group physiotherapy, therapeutic and abdominal massage and bemer therapy. In addition, psychological counselling and dietary therapy are available to patients on request. The aim of the presentation is to show the potential of the use of the sulphur waters of Harkány for the preservation of women's health and the results obtained in the treatment of gynaecological diseases.

Keywords: *Harkány sulphur thermal water, balneo-physiotherapy, gynaecology*

INTEGRATED RE-EVALUATION OF AVAILABLE GEOCHEMICAL DATA OF A KARSTIC GEOTHERMAL SYSTEM

EGY KARSZTOS GEOTERMİKUS RENDSZER RENDELKEZÉSRE ÁLLÓ GEOKÉMIAI ADATAINAK INTEGRÁLT ÚJRAÉRTÉKELÉSE

Zoltán Vári*, Nóra E. Gál, Andrea Szűcs, Zsóka Szabó, Eszter Tihanyiné
Szép, Teodóra Szőcs

Supervisory Authority for Regulatory Affairs (SARA), Geological Survey
**zoltan.vari@sztfh.hu*

Abstract

The aim of this study was to better understand and geochemically characterize a karstic geothermal system to aid in the creation of a complex hydrodynamic model. The system itself is already exploited by multiple different users and is the focus of further geothermal development projects.

The first step was a review of literature and gathering of data, followed by the creation of a unified database of karst water geochemical data from multiple sources which included SARA's own database and data from Budapest Spas cPlc., the General Directorate of Water Management, and various other researchers. Due to the different practices of these organizations, a great deal of effort has been expended to create a satisfactory database which included removal of duplicates, contaminated wells, erroneous data, and handling of censored values.

After obtaining a sufficient database, we performed an exploratory data analysis on our dataset to filter out irregularities and familiarize ourselves with the data. This included basic descriptive statistics, normality tests, and finding of outliers. The next step was a hierarchical cluster analysis using Euclidean distance and Ward's method. The input variables were Na^{++} , K^{+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^{-} , SO_4^{2-} , HCO_3^{-} in mg/l and water temperature in $^{\circ}\text{C}$, the variables were log-transformed and standardized using z-score standardization prior to clustering. Due to the small number of trace element data, these were excluded from the main clustering and will be used in a subsequent analysis. The number of clusters were determined using Silhouette score, Bayesian Information Criterion and visually analyzing the dendrogram. For the interpretation of the results, we used descriptive statistics of the clusters and various graphical and GIS methods, including Piper and expanded Durov diagrams. Along with the cluster analysis, we created various ion distribution maps, geochemical facies maps and geochemical cross sections. In parallel to the clustering, we also performed trend tests on select well's time series using simple graphical methods. In addition to the water temperature and major chemical parameters, interpretation of water isotope analysis has also been applied to help understanding the flow systems and potential mixing.

Two main clusters were identified and subdivided into further subclusters. These subclusters are approximately analogous to various parts of the flow systems along with mixing zones. The subclusters differed mainly in their temperature, total dissolved solid, sulphate, sodium, and chloride content. Stable oxygen and deuterium isotopes show these karst waters have a precipitation origin, however, a very small ratio of brackish or seawater origin cannot be excluded.

The thermal karst waters infiltrated during the Pleistocene, the cold ones in the Holocene, while the lukewarm waters represent a mixing of these two.

Keywords: karst aquifer, thermal water, cluster analysis, hydrogeochemistry, isotope geochemistry

Összefoglaló

E tanulmány célja egy karsztos geotermikus rendszer jobb megértése és geokémiai jellemzése volt, hogy segítse egy komplex hidrodinamikai modell létrehozását. Magát a rendszert már több különböző felhasználó hasznosítja, és további geotermikus fejlesztési projektek középpontjában áll.

Az első lépés a szakirodalom áttekintése és az adatok összegyűjtése volt, majd a több forrásból származó karsztvíz geokémiai adatok egységes adatbázisának létrehozása, amely magában foglalta a SARA saját adatbázisát, valamint a Budapest Spas cPlc. és a Vízügyi Főigazgatóság, valamint különböző más kutatók adatait. E szervezetek eltérő gyakorlata miatt nagy erőfeszítéseket tettek egy kielégítő adatbázis létrehozására, amely magában foglalta a duplikátumok, a szennyezett kutak, a hibás adatok és a cenzúrázott értékek kezelését.

Miután elegendő adatbázist szereztünk, feltáró adatelemzést végeztünk az adatállományunkon, hogy kiszűrjük a szabálytalanságokat és megismerjük az adatokat. Ez magában foglalta az alapvető leíró statisztikákat, a normalitásvizsgálatokat és a kiugró értékek megtalálását. A következő lépés egy hierarchikus klaszterelemzés volt az euklideszi távolság és a Ward-módszer alkalmazásával. A bemeneti változók a Na^{++} , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- mg/l-ben és a vízhőmérséklet $^{\circ}\text{C}$ -ban voltak, a változókat a klaszterezés előtt log-transzformáltuk és z-érték standardizálással standardizáltuk. A nyomelemadatok kis száma miatt ezeket kizártuk a fő klaszterezésből, és egy későbbi elemzés során fogjuk felhasználni. A klaszterek számát a Silhouette pontszám, a Bayes-i információs kritérium és a dendrogram vizuális elemzése segítségével határoztuk meg. Az eredmények értelmezéséhez a klaszterek leíró statisztikáit, valamint különböző grafikus és GIS módszereket használtunk, beleértve a Piper- és a kibővített Durov-diagramokat. A klaszterelemzéssel együtt különböző ioneloszlási térképeket, geokémiai fácies-térképeket és geokémiai keresztmetszeteket készítettünk. A klaszterezéssel párhuzamosan egyszerű grafikus módszerekkel trendvizsgálatokat is végeztünk a kiválasztott kutak idősorain. A vízhőmérséklet és a főbb kémiai paraméterek mellett a vízzotópelemzés értelmezését is alkalmaztuk az áramlási rendszerek és a potenciális keveredés megértéséhez.

Két fő klasztert azonosítottunk, amelyeket további alklaszterekre osztottunk. Ezek az alklaszterek megközelítőleg analógok az áramlási rendszerek különböző részeivel és keveredési zónáival. Az alklaszterek főként a hőmérséklet, az összes oldott szilárd anyag, a szulfát-, nátrium- és kloridtartalom tekintetében különböztek egymástól. Az állandó oxigén- és deutériumizotópok azt mutatják, hogy ezek a karsztvizek csapadékvíz eredetűek, azonban nem zárható ki a brakk- vagy tengervíz eredetének nagyon kis aránya sem. A termikus karsztvizek a pleisztocénben, a hidegek a holocénben szivárogtak be, míg a langyos karsztvizek e kettő keveredését jelentik.

Kulcsszavak: karsztvíztározó, termákvíz, klaszterelemzés, hidrogeokémia, izotóp-geokémia

A HAZAI ÉS SZLOVÁK GYÓGYVÍZKINCSES SAJÁTOSSÁGAI ÉS BALNEOTERÁPIAI FELHASZNÁLÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI

THE CHARACTERISTICS OF THE HUNGARIAN AND SLOVAKIAN MEDICINAL WATER RESOURCES AND THEIR POTENTIAL FOR BALNEOTHERAPEUTIC USE

Juhász Eleonóra^{1*}, Habodászová Orsolya², Kiss-Tóth Emőke¹

¹Miskolci Egyetem Egészségtudományi Kar

²Flora Nova s.r.o. Neurológická ambulancia, Dunaszerdahely

*eleonora.juhasz@uni-miskolc.hu

Összefoglaló

Az ásvány- és gyógyvizeink, valamint a hévizeket is magában foglaló felszín alatti vízkészleteink még inkább felértékelődnek a közeli jövőben. A kutatás célja bemutatni a gyógyászati célokra felhasználható magyar és a szlovák gyógyvízkincset, valamint országoként elemezni és összevetni a vonatkozó jogszabályi hátteret, a minősített gyógyvizek adatbázisainak elemeit, a gyógyvizek csoportosításának módszerét és balneoterápiai javallatait.

Szisztematikusan gyűjtött dokumentumok képezték az elemzés alapját úgy, mint magyar és szlovák joganyagok tartalmi elemei, természetes gyógytényezőkkel összefüggő nyilvános adatbázisok és szakirodalmi közlemények. Magyarországon több mint 900 darab termálvíz kút üzemel. Az általuk felszínre hozott vizek összetételük és hőmérsékletük alapján gyógyászati célokra, termálfürdőre használhatók. A kitermelhető melegvíz-készletek már jelentős részben le vannak kötve, a balneológiai hasznosítás a termális vízfelhasználás 31%-át teszi ki. A gyógyvizekről Szlovákiában törvény rendelkezik, csoportosításának módja rendeletbe van foglalva. A magyar és szlovák terminológia között nincs eltérés. A minősített szlovák gyógyvizek nyilvános adatbázisa megnevezi a felhasználási módokat és a víz hőmérsékletét is. A vizsgált gyógyvizek javallatai jelentős eltérést mutattak országoként. Következtetésünk szerint a határral osztott víztestek közös kutatások lehetőségét nyújtják a fürdővárosok számára.

Kulcsszavak: felszín alatti vizek, javallat, magyar és szlovák jogszabályok, minősített gyógyvíz, nyilvános adatbázis

Abstract

Our mineral and medicinal waters, as well as our groundwater resources, including thermal waters, will become even more valuable in the near future. The aim of the research is to present the Hungarian and Slovakian medicinal water resources for therapeutic purposes, to analyse and compare the relevant legislation, the elements of the databases of qualified medicinal waters, the method of classification of medicinal waters and their balneotherapeutic indications.

Systematically collected documents formed the basis of the analysis, as well as the content of Hungarian and Slovak legislation, public databases on natural therapeutic factors and literature publications. There are more than 900 thermal water wells in Hungary. The composition and temperature of the waters they bring to the surface are such that they can be used for medicinal

purposes and thermal baths. The extractable hot water reserves are already largely exhausted, and balneological use accounts for 31% of thermal water use. In Slovakia, the law on thermal waters is laid down in a decree on the classification of medicinal waters. There is no difference between the terminology used in Hungarian and Slovakian. The public database of qualified Slovak thermal waters also specifies the uses and the temperature of the water. The indications of the tested medicinal waters varied considerably from one country to another. We conclude that water bodies shared by the border offer the possibility of joint research for spa towns.

Keywords: *groundwater, indication, Hungarian and Slovak legislation, qualified groundwater, public database*

**VÍZHOZAM, HORDALÉKSZÁLLÍTÁS ÉS VÍZKÉMIAI
MONITORING A GYILKOS-TÓ ÉS VÍZFOLYÁSAI ESETÉBEN
(BÉKÁS-SZOROS-NAGYHAGYMÁS NEMZETI PARK,
ROMÁNIA)**

**WATER FLOW, SEDIMENT TRANSPORT, AND WATER
CHEMISTRY MONITORING OF GYILKOS LAKE AND ITS
STREAMS (CHEILE BICAZULUI-HĂȘMAȘ NATIONAL PARK,
ROMANIA)**

Máthé István^{1*}, Kelemen Alpár², Siklódi Tamás¹, Rokai Zsombor¹,
Imecs István³

¹*Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Csíkszeredai Kar, Biomérnöki Tanszék,
Csíkszereda*

²*Phoenixpert KFT, Tusnádfürdő*

³*Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Természetesvízi Halökológiai Tanszék, Gödöllő
matheistvan@uni.sapientia.ro

Összefoglaló

A Békás-szoros-Nagyhagymás Nemzeti Park és Natura 2000-es terület legismertebb természeti látványossága a Gyilkos-tó, amely 1837 nyarán keletkezett völgyelzáródás révén. A Gyilkos-kő elnevezésű hegyről heves esőzések nyomán agyagos lejtőtörmelék csúszott le a völgybe, amely elzárta több patak folyását. A keletkezett tó vízfelülete 30 hektár körül lehetett, napjainkban 12 ha körüli. A talajerózió és a patakok hordalékszállításának köszönhetően a természetes feltöltődés megakadályozására/késleltetésére a 1950-es évek közepén két nagy hordalékfelfogó gátat építettek a Vereskő- és Juh-patakon, amelyek mára felteltek hordalékkal, és tervben van a kikotrásuk.

A Békás-szoros-Nagyhagymás Nemzeti Park és Natura 2000-es terület egyik védett állatfaja a botos köllönte (*Cottus gobio*) elnevezésű fenéklakó halfaj, amelynek természetvédelmi állapota "kedvezőtlen-rossz". A botos köllönte jelenleg csak a Gyilkos-tóba beömlő patakok alsó, egybeömlő szakaszán fordul elő, a kiépített gátak fölött pedig eltűnt. Kitűzött cél a veszélyeztetett faj elterjedési területének növelése különböző konzervációbiológiai beavatkozásokkal, így például a faj ex situ szaporítása és telepítése, a meglévő állományok erősítése, élőhelyrestauráció. Mindezek előfeltétele, hogy ismerjük meg a visszatelepítésre szánt halfaj élőhelyeinek fizikai-kémiai paramétereit.

Vizsgálataink során 2022 szeptemberétől kezdődően kéthavonta helyszíni méréseket (vízhozam-, hordalék-, vízhőmérséklet-, pH-, elektromos vezetőképesség-, oldott oxigén-tartalom mérése) és laborkémiai analíziseket végzünk (ammónia-, nitrit-, nitrát-, összes szerves szén-, orto-foszfát-tartalom meghatározása).

Eddigi méréseink alapján a Gyilkostóba beömlő három nagyobb patak (Juh-, Vereskő- és Likas-patak) összefolyásánál a minimális vízhozam 0,12 m³/s volt (2023.10.04) egy meleg és csapadékszegény nyár után, míg a legmagasabb értéket (1,79 m³/s) egy hirtelen hóolvadást

követően (2024.02.13) mértük. Az összefolyásnál a víz turbiditását (zavarosságát) illetően minimum 3 FTU értéket mértünk, míg a legmagasabb érték 87 FTU volt. Ez utóbbi esetben a Juh-patak egyik oldalága mentén fakitermelés folyt és ennek következtében nagyon zavaros víz került a patakba és innen a tóba. Meghatároztuk, hogy az adott vízhozam mellett ekkor a Gyilkos-tóba óránként 350 kg hordalékot szállított a víz. Az összefolyásnál a víz hőmérséklete minimum 0,7 °C (2023.01.30), míg a maximum 15,8 °C volt (2023.06.19), a pH 7,7–8,3 között változott, a vezetőképesség értéke pedig 350 µS/cm körül mozgott.

Általánosságban elmondható, hogy a botos kölönte jelenlegi élőhelyén, illetve a visszatelepítésre szánt patakszakaszokon a mért fizikai-kémia paraméterek kielégítik a szakirodalom által jelzett környezeti igényeit a célfajnak.

Abstract

The most well-known natural attraction of the Cheile Bicazului-Hășmaș National Park and Natura 2000 area is the Red Lake, which was formed in the summer of 1837 due to a valley closure. Clay slope debris slid down into the valley from the mountain called Gyilkos-kő after heavy rainfall, blocking the flow of several streams. The lake's water surface was initially around 30 hectares, but it is currently around 12 hectares. To prevent or delay natural sedimentation caused by soil erosion and stream sediment transport, two large sediment-trapping dams were built on the Vereskő and Juh streams in the mid-1950s. These dams are now filled with sediment, and there are plans to dredge them.

One of the protected animal species in the Cheile Bicazului-Hășmaș National Park and Natura 2000 area is the bottom-dwelling fish species known as the European bullhead (*Cottus gobio*), whose conservation status is "unfavorable-bad." Currently, the European bullhead is only found in the lower, confluencing sections of the streams flowing into Red Lake, and it has disappeared above the constructed dams. The goal is to increase the distribution area of this protected species through various conservation interventions, such as ex situ breeding and stocking, strengthening existing populations and habitat restoration. All these efforts require knowledge of the physical and chemical parameters of the habitats intended for fish reintroduction.

Since September 2022, we have been conducting on-site measurements (water flow, sediment, water temperature, pH, electrical conductivity, dissolved oxygen content) and laboratory chemical analyses (ammonia, nitrite, nitrate, total organic carbon, orthophosphate content) every two months.

Based on our measurements so far, the minimum water flow at the confluence of the three larger streams flowing into Red Lake (Juh, Vereskő, and Likas streams) was 0.12 m³/s (October 4, 2023) after a warm and dry summer, while the highest value (1.79 m³/s) was measured following a sudden snowmelt (February 13, 2024). At the confluence, the minimum turbidity value was 3 FTU, while the highest value was 87 FTU. In the latter case, logging along one branch of the Juh stream resulted in very turbid water entering the stream and then the lake. We determined that at this water flow rate, the stream transported 350 kg of sediment per hour into Red Lake. The water temperature at the confluence ranged from a minimum of 0.7°C (January 30, 2023) to a maximum of 15.8°C (June 19, 2023), pH varied between 7.7 and 8.3, and the conductivity was around 350 µS/cm.

Overall, the measured physical and chemical parameters in the current habitat of the European bullhead and the stream sections intended for reintroduction meet the environmental requirements indicated in the literature for the target species.

HARMÓNIA – HAGYOMÁNY – HARKÁNY
A HARKÁNYI GYÓGYVÍZ ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI
A PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM KLINIKAI KÖZPONT
HARKÁNYI TERMÁL REHABILITÁCIÓS KÓRHÁZBAN

HARMONY - TRADITION - HARKÁNY
POSSIBILITIES OF USING THE HARKÁNY THERMAL WATER
IN THE HARKÁNY THERMAL REHABILITATION HOSPITAL
OF THE UNIVERSITY OF PÉCS CLINICAL CENTRE

Hidegné Bély Zsófia

Pécsi Tudományegyetem, Klinikai Központ, Harkányi Termál Rehabilitációs Kórház
belyzsofi@gmail.com

Összefoglaló

Európa kivételes hidrogeológiai helyzetének köszönhetően hazánkat is rendkívüli gyógyvíz-gazdagság jellemzi. Gyógyvizeink kémiai összetétel szempontjából változatos képet mutatnak, ennek köszönhetően a gyógyvízzel való kezeléseknél - mint a természetes gyógymódok egyik legrégebbi formájának - nemcsak múltja, hanem jelene és jövője is van.

Intézetünkben lehetőségünk van az Európában is egyedülálló harkányi gyógyvízzel végzett kezelésekre. Gyógyvizünk kiemelkedő fontosságú a régióban. Gyógyászati szempontból legjelentősebb ásványi anyaga a karbonil-szulfid, mely egyedi tulajdonságainak köszönhetően hatékonyan alkalmazható elsősorban mozgásszervi-, degeneratív megbetegedések komplex fizioterápiás kezelésére. Gyógyhatását felhasználjuk psoriasis és meddőségi-, nőgyógyászati kezelések kiegészítő terápiájaként is.

Előadásom célja bemutatni a Pécsi Tudományegyetem Klinikai Központ Harkányi Termál Rehabilitációs Kórház balneo- és hydroterápiás kezelési módszereit és a harkányi gyógyvíz alkalmazási területeit.

Tapasztalataink és a harkányi gyógyvízzel végzett kutatásaink alapján elmondhatjuk, hogy a kórházunkban végzett gyógyvizes kezeléseink jelentősen hozzájárulnak betegeink állapotának javulásához.

Kulcsszavak: *gyógyvíz, Harkány, balneoterápia*

Abstract

Due to the exceptional hydrogeological situation in Europe, our country is also characterised by an exceptional wealth of medicinal waters. Our medicinal waters have a varied chemical composition, which means that medicinal water treatments - as one of the oldest forms of natural medicine - have not only a past, but also a present and a future.

In our institute we have the opportunity to offer treatments with the unique Harkany medicinal water, which is unique in Europe. Our medicinal waters are of outstanding importance in the region. Its most important mineral from a therapeutic point of view is carbonyl sulphide, which,

thanks to its unique properties, can be used effectively for complex physiotherapy treatment, especially for musculoskeletal and degenerative diseases. It is also used as a complementary therapy for psoriasis, infertility and gynaecological treatments.

The aim of my lecture is to present the balneo- and hydrotherapeutic treatment methods of the Harkányi Thermal Rehabilitation Hospital of the University of Pécs Clinical Centre and the application areas of the Harkányi thermal water.

Based on our experience and our research with the medicinal water of Harkány, we can say that the medicinal water treatments carried out in our hospital contribute significantly to the improvement of our patients' condition.

Keywords: *thermal water, Harkány, balneotherapy*

A GYÓGYFÜRDŐ LÁTOGATÁSI SZOKÁSOK JELLEMZŐI A MAGYAR LAKOSSÁG KÖRÉBEN

CHARACTERISTICS OF SPA VISITING HABITS AMONG THE HUNGARIAN POPULATION

Hidegné Bély Zsófia^{1,*}, Ambrus Eszter^{1,2}

¹Pécsi Tudományegyetem, Klinikai Központ, Harkányi Termál Rehabilitációs Kórház

²Pécsi Tudományegyetem, Egészségtudományi Kar, Egészségtudományi Doktori Iskola, Pécs

*belyzsofi@gmail.com

Összefoglaló

Az egészségturizmus a tudatosabb gondolkodás és az egészséges életmódra való törekvés hatására alakult ki. Magyarország gazdag és változatos összetételű gyógyvizekkel rendelkezik, így hazánkban ezek képezik az egészségturizmus alapját. Kutatásunk célja a magyar lakosság gyógyfürdő-látogatási szokásainak felmérése volt.

A vizsgálatot a 18 év feletti magyar lakosság körében végeztük, 150 fős tervezett mintával. Az adatgyűjtést egy saját készítésű, Google Forms alapú online kérdőív és a World Health Organization Quality of Life rövidített általános életminőség kérdőív segítségével végeztük. Az önkéntes résztvevők Facebook-on keresztül tölthették ki a kérdőívet. Az adatok feldolgozásához Microsoft Excel és SPSS programokat használtunk, a szignifikancia értékét pedig $p \leq 0,05$ -ben határoztuk meg.

A vizsgálat résztvevőinek többsége a 40-50 év közötti korcsoportba tartozott. A válaszadók nagy része évente 1-2 alkalommal látogat gyógyfürdőket pihenés és rekreáció céljából, és a fürdő kiválasztásában leginkább a környék látnivalói befolyásolták őket. Az 50 év alattiak szignifikánsan gyakrabban választják pihenés és wellness céljából a gyógyfürdőket, mint az 50 év felettek ($p=0,001$). Az 50 év felettek körében szignifikánsan magasabb azok aránya, akik prevenció ($p<0,001$) vagy gyógyászati kezelés, illetve orvosi utasítás miatt veszik igénybe a gyógyfürdőket. A rendszeresen gyógyfürdőbe járók életminőségüket szignifikánsan jobbnak ítélték meg, mint a ritkábban fürdőzők ($p=0,029$).

A rendszeres balneoterápia pozitív hatással lehet az életminőségre. A gyógyfürdők kiválasztását nagy mértékben befolyásolják a környezet látnivalói, és a látogatás célját tekintve a fiatalabb korosztály inkább rekreáció és wellness, míg az idősebb korosztály prevenció és gyógykezelés céljából veszi igénybe ezeket a szolgáltatásokat.

Kulcsszavak: gyógyvíz, gyógyfürdő látogatási szokások, életminőség

Abstract

Health tourism has evolved as a result of more conscious thinking and a desire to lead a healthy lifestyle. Hungary has rich and varied medicinal waters, which form the basis of health tourism in our country. The aim of our research was to assess the visiting habits of the Hungarian population.

The survey was conducted among the Hungarian population aged 18 and over, with a planned sample of 150 people. Data collection was conducted using a self-designed online questionnaire based on Google Forms and the World Health Organization Quality of Life abbreviated general quality of life questionnaire. Volunteer participants were able to complete the questionnaire via Facebook. Microsoft Excel and SPSS were used to process the data, and significance was set at $p \leq 0.05$.

The majority of the study participants were in the age group of 40-50 years. Most of the respondents visit spas 1-2 times a year for recreation and relaxation and were mostly influenced by the attractions of the area in choosing a spa. Those under 50 years of age are significantly more likely to choose spas for recreation and wellness than those over 50 ($p=0.001$). The proportion of those over 50 who use spas for prevention ($p<0.001$) or for medical treatment or on doctor's orders is significantly higher. Regular bathers rated their quality of life as significantly better than those who bath less frequently ($p=0.029$).

Regular balneotherapy can have a positive impact on quality of life. The choice of spas is strongly influenced by the attractions of the surroundings, and in terms of the purpose of the visit, the younger age group tends to use these services for recreation and wellness, while the older age group uses them for prevention and treatment.

Keywords: *spa water, spa visiting habits, quality of life*

TISZAÚJVÁROSI KOMPLEX FIZIOTERÁPIÁS KEZELÉS HATÁSOSÁGA DERÉKFÁJDALOMMAL JÁRÓ MEGBETEGEDÉSEKBEN

EFFICACY OF COMPLEX PHYSIOTHERAPY TREATMENT IN TISZAÚJVÁROS FOR LOW BACK PAIN

Pónus-Tvergyák Alinka^{1,*}, Kis-Kondás Dóra

¹Miskolci Egyetem Egészségtudományi Kar

*tvergyaka@gmail.com

Összefoglaló

A balneológia a gyógyvíz hatásaival foglalkozó tudományág, amely a természetes ásványvizek orvosi felhasználását is jelenti prevenció, terápia és rehabilitáció céljából. A balneoterápia a termálvízben gazdag helyeken fejlődött ki. Tiszaújváros 2001-ben országos gyógyfürdővé minősített létesítménye 1200m mélyről jövő, 65°C fokos, viszonylag magas sókoncentrációjú, nátriumklorid és hidrokarbonát tartalmú termális ásványvizet hasznosít. Literenként 4693mg oldott ásványianyagot tartalmaz, amiből a nátriumtartalom 1410 mg. A víz elsősorban ízületi, idült nőgyógyászati és urológiai betegségek kezelésében hatékony. A gyógyhelyen az egészségügyi ellátás ambuláns formában biztosítja, többek között a reumatológiai betegek gondozási-kezelési feladatait. A gyógyításba bekapcsolódik a városi termálfürdő intézménye is, lehetőséget adva a balneoterápiai eljárások beépítésére a komplex terápiákba.

Vizsgálatunk célja a gyógyfürdőzéssel kiegészített komplex fizioterápiás kezelések hatékonyságának kimutatása krónikus derékfájdalommal járó megbetegedésekben.

A vizsgálat a Tiszaújvárosi Városi Rendelőintézet Fiziko-, és Balneoterápiás részlegén zajlott. Bevonasra került az az önként jelentkező, aki betöltötte az 55. életévét, rendelkezett valamilyen degeneratív gerincmegbetegedés diagnózissal. A résztvevőket (52 fő, átlagéletkor $64,2 \pm 4,69$ év) három csoportba osztottuk a szakorvos által kiírt kezelések alapján. Rögzítettük a betegek fájdalmának jellegét, erősségét és gyakoriságát. Mértük a gerinc aktív mozgásterjedelmét minden mozgásirányban. A gerincire ható izmok statikus és dinamikus erejét funkcionális próbákkal becsültük. A komplex fizioterápiás kúra 15 alkalomból állt és a kezelések naponta voltak kivitelezve. Mind az 52 fő részt vett naponta egy 25 perces subaqualis tornán. Az 1. csoport betegei ezeken felül súlyfürdő kezelésben is részesültek, a 2. csoport pedig víz alatti sugármasszázst kapott, míg a 3. csoport csupán a vízitornát, kiegészítő kezelés nélkül. Minden beteg a kezelések után 20 perces gyógyfürdőzést végzett a fürdő egyik gyógyvizes medencéjében. A hőfokot a beteg maga határozta meg, 34°C, 36°C, 38°C-os medencék közül választva. A kapott adatok feldolgozása Microsoft Excel programmal történt. A változásvizsgálatot t-próba alkalmazásával végeztük, $p \leq 0,05$ szignifikancia szinttel.

Kiinduláskor a fájdalom értéke magas volt, a Vizuál Analóg Skálán $6,3 \pm 1,26$. Minden beteg esetében csökkent a gerinc mozgásterjedelme legalább egy irányban és izomgyengülés is fennállt. A kezelések után a csoportokat összehasonlítva azt találtuk, hogy a fájdalom erőssége a súlyfürdő kezelésben részesülő 1. csoportban csökkent legnagyobb mértékben, $4,59 \pm 0,98$ értékkel. A mozgásterjedelem a víz alatti sugármasszázst is igénybe vevő csoportban érte el a legjobb

eredményt, $0,54 \pm 0,33$ cm-es növekedéssel. Izomerő javulást tapasztaltunk mindhárom csoport esetében. A statikus izomerő átlagosan $1,82 \pm 0,72$ mp-el mutatott jobb eredményt, a dinamikus pedig $1,09 \pm 0,3$ darab gyakorlattal.

A kapott eredmények azt mutatják, hogy a tiszaujvárosi gyógyvizet kihasználva, komplex fizioterápia segítségével a krónikus derékfájdalommal járó megbetegedések hatékonyan kezelhetők, azonban az egyes eljárások eltérő módon javítják a betegek fizikai állapotát, képességeit.

Abstract

Balneology is a discipline dealing with the effects of medicinal waters, which also refers to the medical use of natural mineral waters for prevention, therapy and rehabilitation. Balneotherapy has developed in places rich in thermal waters. The Tiszaújváros facility, certified as a national spa in 2001, utilises thermal mineral waters from a depth of 1200m, with a relatively high salt concentration, sodium chloride and hydrocarbonate content, at 65°C. It contains 4693mg of dissolved minerals per litre, of which sodium content is 1410mg. The water is mainly effective in the treatment of arthritic, chronic gynaecological and urological diseases. The spa provides outpatient health care, including the care and treatment of rheumatology patients. The spa also includes a thermal baths facility in the town, which allows balneotherapy procedures to be incorporated into complex therapies.

The aim of our study is to demonstrate the effectiveness of complex physiotherapeutic treatments complemented by spa therapy in patients with chronic low back pain.

The study was conducted in the Department of Physiotherapy and Balneotherapy of the Tiszaújváros Municipal Clinic. Volunteers who were over 55 years of age and had a diagnosis of a degenerative spine disease were included. The participants (52 persons, mean age 64.2 ± 4.69 years) were divided into three groups according to the treatments prescribed by the specialist. We recorded the nature, severity and frequency of the patients' pain. Active range of motion of the spine in all directions of motion was measured. The static and dynamic strength of the muscles acting on the spine was estimated by functional tests. The complex physiotherapy course consisted of 15 sessions and treatments were performed daily. All 52 subjects participated in a daily 25-minute subaqualis exercise session. In addition, patients in group 1 also received a weight bath treatment, group 2 received an underwater jet massage, while group 3 received only the water gymnastics without any additional treatment. After the treatments, all patients had a 20-minute spa bath in one of the spa's thermal pools. The temperature was set by the patients themselves, choosing between pools of 34°C, 36°C and 38°C. The data obtained were processed using Microsoft Excel. The analysis of variance was performed using a t-test with a significance level of $p \leq 0.05$.

At baseline, pain scores were high, 6.3 ± 1.26 on the Visual Analogue Scale. All patients had decreased spinal range of motion in at least one direction and muscle weakness. After the treatments, comparing the groups, we found that the pain severity decreased most in group 1, which received the weight bath treatment, with a value of 4.59 ± 0.98 . Range of motion was best in the group that also received underwater jet massage, with an increase of 0.54 ± 0.33 cm. Muscle strength improvements were observed in all three groups. On average, static muscle strength showed an improvement of 1.82 ± 0.72 mp, and dynamic muscle strength showed an improvement of 1.09 ± 0.3 mp.

The results obtained show that using the medicinal waters of Tiszaújváros, complex physiotherapy can effectively treat chronic low back pain, but the individual procedures improve the physical condition and abilities of the patients differently.

AZ EGRSZALÓKI MÉSZTUFADOMB KOMPLEX VIZSGÁLATA

COMPLEX STUDY OF THE EGRSZALÓK LIMESTONE MOUND

Tóth Márton^{1,*}, Kiss Réka²

¹Miskolci Egyetem, Víz- és Környezetgazdálkodás Intézet

²Egerszalóki Gyógyforrás Kft.

*marton.toth@uni-miskolc.hu

Összefoglaló

2019-ben az Egerszalóki Gyógyforrás Kft. megbízásából a Karsztvízgazda Bt. egy komplex vizsgálatba kezdett, melybe a Miskolci Egyetem Víz- és Környezetgazdálkodási Intézetéből többen is bekapcsolódtunk. A vizsgálat célja az egerszalóki mésztufadomb pillanatnyi állapotának feltárása, valamint revitalizációjának szakmai alapjainak megteremtése volt. A munka a „sódomb” (a mésztufadomb helyi elnevezése) geodéziai felméréssel indult, mely után talajmechanikai vizsgálatok történtek, melyek a statikai vizsgálatokhoz szolgáltatott információt. Hosszabbtávú vizsgálat volt a víz kémiai összetétel változásának szezonális vizsgálata, valamint a mikrovegetáció szezonális vizsgálata. A felmérések, vizsgálatok eredményeit alapul véve tájépítész bevonásával kidolgozásra került a „sódomb” új arculata, valamint annak környezetének kialakítása.

A geodéziai felmérés során kiderült, hogy a legutóbbi 2006-os felmérés óta a „sódomb” térfogata 2019-re 266 m³-rel nőtt, ami kb. évi 20 m³-es növekedést jelent. Ez olyan mértékű tömegnövekedést jelent, melyet mindenképp szükséges talajmechanikai szempontból is vizsgálni. A talajmechanikai vizsgálatok során 4 db talajszelvény készült. A talajfizikai jellemzőkben jelentős változást nem tapasztaltak. A 2014-ben létesített megerősítés, horgonyzás esetében a horgonyvégek kihúzóását, befeszülését nem tapasztalták. A felmérés a „sódomb” és az alatti rétegek térfogat sűrűségére, belső súrlódási szögére és kohéziójára szolgáltatott adatokat.

A statikai vizsgálatok, melyek a talajmechanikai felmérések eredményén alapultak kimutatták, hogy a „sódomb” jelenlegi állapotában stabil, a biztonsági tényezők megfelelőek. Ugyanakkor kihangsúlyozza, hogy a gyors tömegnövekedés miatt rendszeres geodéziai nyomon követésre van szükség, inklinációs kutak beépítésére tesz javaslatot a mozgások észlelése végett, valamint rendszeres, geotechnikai szakértő általi felülvizsgálatot javasol.

A mikrovegetáció vizsgálat során megállapításra került, hogy a megjelenő növényi mikroszervezetek és a víz hőmérséklete között szoros összefüggés van. Általában 50-51 °C-os hőmérséklet felett nem jelennek meg a domináns zöld színt okozó cianobaktériumok. Ugyanakkor 30 °C körüli hőmérsékleten már nem csak a cianobaktériumok vannak jelen, hanem dús vegetációt alkotnak a zöldessárga színt okozó fonalas zöldalga (főként a *Mougeotia* sp.) fajok.

2019-ben a „sódomb” tetején csatornáknak vezették a termálvizet, annak oldalára. A vízkémiai vizsgálatok során bebizonyosodott, hogy e megoldás során a „sódomb” teteje nem épült, mivel a kicsapódó CaCO₃ a domb oldalfalára rakódott. Ennek oka, az volt, hogy a CO₂ kigázosodása sokkal hatékonyabban ment végbe a „sódomb” oldalán, mert ott a termálvíz vékony vízfilmbe,

bucskázva folyt le. A kigázosodó CO₂ felborította a termásvíz oldott anyagainak az egyensúlyát, amire a rendszer a CaCO₃ kicsapódásával reagált.

A természetes travertínó (termásvízből származó karbonát lerakódás) dombok formája kerekded. Az egerszalóki „sódomb” mesterséges alakítása rendkívül extrém ágyúcső, vízköpő formákat eredményezett. 2019-ben ezeket az extrém formákat le is faragták. A tájépítész javaslatára a „sódomb” tetején egy központi vízkivezetés került kialakításra, melyből minden irányba tud a termásvíz távozni, így biztosítva a „sódomb” természetes domborulatainak alakulását. A „sódomb” színbeli változatossága pedig egy olyan természetes jelenség, amit a fürdő látogatóinak el kell fogadni, mert a méretéből adódóan már nem tudja beborítani az 50 °C-os termásvíz, így nem tud minden részén olyan szép fehér lenni, mint a 2000-es években.

Egerszalóki Gyógyforrás Kft. által finanszírozott munkában az alábbi szakemberek vettek még részt: Szívós András, Pelyhe Tibor, Lénárd Miklós, Dr. Kántor Tamás, Karádi Gábor és Lénárt László

Abstract

In 2019, on behalf of the Egerszalóki Gyógyforrás Kft., Karsztvízgazda Bt. started a complex study, in which several of us from the Institute of Water and Environmental Management of the University of Miskolc were involved. The aim of the study was to investigate the current state of the Egerszalók lime dam and to establish the professional basis for its revitalisation. The work started with a geodetic survey of the "salt hill" (the local name for the lime mound), followed by soil mechanics studies to provide information for the static studies. A longer-term study was a seasonal study of changes in water chemistry and a seasonal study of micro-vegetation. Based on the results of the surveys and studies, a new image of the "salt hill" and its surroundings were developed with the involvement of a landscape architect.

The geodetic survey revealed that since the last survey in 2006, the volume of the "salt mound" has increased by 266 m³ by 2019, an increase of about 20 m³ per year. This represents an increase in mass that needs to be investigated from a soil mechanics point of view.

The soil mechanics tests were carried out on 4 soil sections. No significant changes in soil physical properties were observed. No anchor end pull-out or seizure was observed for the reinforcement and anchoring installed in 2014. The survey provided data on the bulk density, internal friction angle and cohesion of the 'salt mound' and underlying layers.

The structural analysis, based on the results of the soil mechanics surveys, showed that the 'salt hill' is stable in its present condition and that the safety factors are adequate. However, it stresses the need for regular geodetic monitoring due to the rapid increase in mass, recommends the installation of inclination wells to detect movements and suggests regular review by a geotechnical expert.

The micro-vegetation study found that there is a strong correlation between the presence of plant micro-organisms and water temperature. In general, above 50-51 °C, cyanobacteria that cause the dominant green colour do not appear. However, at temperatures around 30 °C, not only cyanobacteria are present, but also a dense vegetation of greenish-yellow filamentous green algae species (mainly *Mougeotia* sp.).

In 2019, the thermal water was channeled through the top of the "salt hill" to the sides. Water chemistry tests showed that this solution did not build up the top of the "salt hill" as the precipitated CaCO₃ was deposited on the side wall of the hill. The reason for this was that the CO₂ was more efficiently precipitated on the side of the "salt hill", where the thermal water flowed down in a thin film of water, which was then washed away. The CO₂ gasification upset the solute balance of the thermal water, and the system reacted by precipitating CaCO₃.

The natural travertine (carbonate deposits from thermal water) hills are rounded in shape. The artificial shaping of the Egerszalok 'salt hill' has resulted in extremely extreme cannon-barrel, spouted shapes. In 2019, these extreme shapes will be carved away. At the suggestion of the landscape architect, a central water outlet was created at the top of the 'salt hill', allowing thermal water to flow in all directions, thus ensuring the natural contours of the 'salt hill' are preserved. The variation in colour of the 'snow hill' is a natural phenomenon that visitors to the spa have to accept, as it is no longer covered by the 50 °C thermal water due to its size, and therefore cannot be as white in all parts as it was in the 2000s.

Other experts involved in the work financed by Egerszalóki Gyógyforrás Kft. were András Szívós, Tibor Pelyhe, Miklós Lénárd, Tamás Kántor, Gábor Karádi and László Lénárt

INTRODUCTION TO THE DATA SYSTEM DEVELOPED TO AID GEOTHERMAL EXPLORATION IN HUNGARY

BEVEZETÉS A MAGYARORSZÁGI GEOTERMIKUS FELTÁRÁST SEGÍTŐ ADATRENDSZERBE

Zsóka Szabó*, Julianna Mekker, Zoltán Vári, Nóra Gál, Andrea Szűcs,
Éva Kun, Ágnes Rotárné Szalkai, György Tóth, Eszter Tihanyiné Szép,
András Cégény, Edit Babinszki, László Bereczki

Supervisory Authority for Regulatory Affairs (SARA), Geological Survey

**zsoka.szabo@sztfh.hu*

Abstract

The National Geothermal Research Programme of the Supervisory Authority for Regulatory Affairs aims to develop a comprehensive data system by compiling data packages to facilitate the implementation of geothermal investments with the least possible risk.

Two types of data packages are available. The basic data packages contain systematically organized up-to-date geological, geophysical, hydrogeological and geothermal data for previously identified favorable areas. The upgraded data packages include complementary evaluations of geophysical, geological and hydrogeological data.

From a hydrogeological perspective, basic data packages have been completed for 158 areas and the upgraded data packages for 16 areas. The latter consist of two parts, a hydrodynamic and a hydrochemical summary.

For the hydrodynamic assessment, hydrostratigraphic units were determined based on generalized stratigraphic columns prepared by experts in geology. Using these hydrostratigraphic units, the aquifers were characterized according to their suitability for geothermal fluid production, considering the potential risks as well. This characterization includes the type, occurrence, and extent of the aquifer, possible temperature and pressure conditions, flow regimes, and hydraulic connections.

The hydrochemical analysis for each unit is based on water chemistry data from boreholes and water production wells in the area, providing a general, statistical characterization of the expected water quality. Parameters were selected based on their relevance to geothermal use, such as water type, water temperature, and total dissolved solids content. The hydrochemical characterization also helped to refine the hydrodynamic assessment.

One of the main objectives of the National Geothermal Research Programme is to make the collected, corrected, and re-evaluated data available in a data room to support successful geothermal research and new investments in Hungary.

Keywords: *thermal water, aquifer characterization, water chemistry, statistical data analysis, data room service*

Összefoglaló

A Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága Nemzeti Geotermikus Kutatási Programjának célja, hogy adatcsomagok összeállításával átfogó adatrendszert alakítson ki a geotermikus beruházások minél kisebb kockázattal történő megvalósításának elősegítése érdekében.

Kétféle adatcsomag áll rendelkezésre. Az alap adatcsomagok szisztematikusan rendszerezett, naprakész geológiai, geofizikai, hidrogeológiai és geotermikus adatokat tartalmaznak az előzetesen azonosított kedvező területekről. A továbbfejlesztett adatcsomagok a geofizikai, geológiai és hidrogeológiai adatok kiegészítő értékeléseit tartalmazzák.

Hidrogeológiai szempontból 158 területre vonatkozóan készültek el az alapadatcsomagok, 16 területre vonatkozóan pedig a továbbfejlesztett adatcsomagok. Ez utóbbiak két részből állnak, egy hidrodinamikai és egy hidrokémiai összefoglalóból.

A hidrodinamikai értékeléshez a hidrosztratigráfiai egységeket geológus szakértők által készített általános rétegtani oszlopok alapján határozták meg. E hidrosztratigráfiai egységek felhasználásával a víztartó rétegeket a geotermikus folyadékok kitermelésére való alkalmasságuk alapján jellemezték, figyelembe véve a lehetséges kockázatokat is. Ez a jellemzés magában foglalja a víztartó réteg típusát, előfordulását és kiterjedését, a lehetséges hőmérsékleti és nyomásviszonyokat, az áramlási rendszereket és a hidraulikus kapcsolatokat.

Az egyes egységek hidrokémiai elemzése a területen található fúrásokból és víztermelő kutakból származó vízkémiai adatokon alapul, amelyek a várható vízminőség általános, statisztikai jellemzését adják. A paramétereket a geotermikus felhasználás szempontjából való jelentőségük alapján választották ki, mint például a víz típusa, a víz hőmérséklete és az összes oldott szilárd anyag tartalma. A hidrokémiai jellemzés segítette a hidrodinamikai értékelés pontosításában is.

A Nemzeti Geotermikus Kutatási Program egyik fő célkitűzése, hogy az összegyűjtött, korrigált és újraértékelt adatokat egy adattárban elérhetővé tegye a sikeres magyarországi geotermikus kutatások és új beruházások támogatása érdekében.

Kulcsszavak: termálvíz, víztartó rétegek jellemzése, vízkémia, statisztikai adatelemzés, adatszoba-szolgáltatás

**XVIII. NEMZETKÖZI TUDOMÁNYOS KONFERENCIA A
KÁRPÁT-MEDENCE ÁSVÁNYVIZEIRŐL
TATA, 2024. AUGUSZTUS 29-30. AM
KONFERENCIA, RÉSZLETES PROGRAM**

2024. augusztus 29. (csütörtök), Előadónap

Helyszín: Új Kajakház Ökoturisztikai Központ

08:00 - 09:00 Regisztráció

09:00 - 09:30 Megnyitó és köszöntők

Michl József

polgármester, Tata

Bencsik János

országgyűlési képviselő

Dr. Prof. Szűcs Péter

általános és tudományos rektorhelyettes, egyetemi tanár, Miskolci Egyetem

Dr. Lénárt László

címzetes egyetemi tanár, kuratóriumi elnök, Felszín Alatti Vizekért Alapítvány

Dr. Máthé István

egyetemi docens, Sapientia EMTE, Csíkszeredai Kar

09:30 - 10:30 Plenáris előadások

Tata - egy Ramsari Város gyakorlata a vizes élőhelyek védelme terén

Michl József, polgármester, Tata

Országhatáron átnyúló hatások a magyarországi vízkészletekre, különös tekintettel a termálvizeteket illetően

Szűcs Péter, általános és tudományos rektorhelyettes, egyetemi tanár, Miskolci Egyetem

Zákányi Balázs, egyetemi docens, Miskolci Egyetem

Nyiri Gábor, tudományos munkatárs, Miskolci Egyetem

Ahol a kövek mesélnek, a Bükk-vidék Geopark (filmvetítés és bemutató)

Rónai Kálmánné, igazgató, Bükki Nemzeti Park Igazgatóság; Bükk-vidék UNESCO

Globális Geopark

Megyeri Balázs, geopark szakmenedzser, Bükki Nemzeti Park Igazgatóság; Bükk-vidék

UNESCO Globális Geopark

10:30 - 10:50 Szünet

10:50 - 12:30 Szekcióelőadások (levezető elnök: Dr. Lénárt László)

**A romániai palackozott ásványvizek osztályozása
(Classification of Romanian bottled mineral waters)**

Bodor Katalin, Bodor Zsolt, Szép Alexandru, Szép Róbert, Keresztesi Ágnes, László Szilvia, Szilágyi József, Tamási Borbála, Bartos Hunor

**Nőgyógyászati betegségek komplex balneo-fizioterápiás kezelési lehetőségei
Harkányban**

Hidvégi Rebeka, Ambrus Eszter Krisztina, Csengeri Kata, Kovács Viktória, Szigeti Katalin

Discovering the subsurface of water sinks: testing of a new geoelectric methodology in the Bükk Mountains, Hungary

Kárpi Marcell, Baracza Mátyás Krisztián, Szalai Sándor, Pap József, Hafedh Nasser Almousaedi

Az egerszalóki travertínó domb komplex vizsgálatának eredményei

Tóth Márton, Kiss Réka

**Egyedi műszaki tartalommal rendelkező ásványvíz termelő kút kivitelezése
Magyarországon**

Vadászi Marianna, Bitay Endre

A Budai Termálkarszt Rendszer archív geokémiai adatainak komplex újraértékelése

(Integrated re-evaluation of available geochemical data of a karstic geothermal system)

Vári Zoltán, Gál E. Nóra, Szűcs Andrea, Szabó Zsóka, Tihanyiné Szép Eszter, Szőcs Teodóra

12:30 - 14:00 Ebéd (Pikantó Terasz)

14:00 - 15:40 Szekcióelőadások (levezető elnök: Dr. Miklós Rita)

A hazai és szlovák gyógyvízkincs sajátosságai és balneoterápiai felhasználásának lehetőségei

Juhász Eleonóra, Habodászová Orsolya, Kiss-Tóth Emőke

Vízhozam, hordalékszállítás és vízkémiai monitoring a Gyilkos-tó és vízfolyásai esetében (Békás-szoros-Nagyhagymás Nemzeti Park, Románia)

(Water flow, sediment transport, and water chemistry monitoring of Gyilkos Lake and its streams (Cheile Bicazului-Hășmaș National Park, Romania))

Máthé István, Kelemen Alpár, Siklódi Tamás, Rokai Zsombor, Imecs István

Quantification of domain heat regeneration around deep borehole heat exchangers with cyclic operation

Pap József, Baracza Mátyás Krisztián

Szeged környéki szénhidrogén- és termálvíz termelés hatása a Dunántúli Formációcsoport nyomásviszonyaira

Pinjung Zsolt

Harmónia – Hagyomány – Harkány. A harkányi gyógyvíz alkalmazásának lehetőségei a Pécsi Tudományegyetem Klinikai Központ Harkányi Termál Rehabilitációs Kórházban

Hidegné Bély Zsófia

**Az éghajlatváltozás forráshozamokra gyakorolt hatásának értékelése egy új, kombinált sztochasztikus-analitikus módszerrel a Jósua-forrás példáján, Aggteleki-karszt, Magyarország
(Assessment of climate change impact on spring discharge by a combined stochastic-analytical method, Aggtelek Karst area, Hungary)**

Kovács Attila, Ilyés Csaba, Szűcs Péter

15:40 - 16:00 Szünet

16:00 - 17:40 Szekcióelőadások (levezető elnök: Dr. Máthé István)

A gyógyfürdő látogatási szokások jellemzői a magyar lakosság körében

Hidegné Bély Zsófia, Ambrus Eszter

Tiszaújvárosi komplex fizioterápiás kezelés hatásossága derékfájdalommal járó megbetegedésekben

Pónus-Tvergyák Alinka, Kis-Kondás Dóra

A Bükki termálkarszt víztest (kt.2.1) Bükk-térségi részén lévő kutak adatainak vizsgálata

Lénárt László, Miklós Rita

Introduction to the data system developed to aid geothermal exploration in Hungary

Szabó Zsóka, Mekker Julianna, Vári Zoltán, Gál Nóra, Szűcs Andrea, Kun Éva, Rotárné Szalkai Ágnes, Tóth György, Tihanyiné Szép Eszter, Cégény András, Babinszki Edit, Bereczki László

Bükkábrányi Ásványvíz

Tóth Katalin

19:00 Állófogadás, vacsora (Pikant Étterem)

TARTALOM

| | |
|--|----|
| Székely Ferenc hidrogeológus, címzetes egyetemi tanár, az MTA doktora köszöntése 80. születésnapja alkalmából..... | 3 |
| SZÚCS PÉTER, ZÁKÁNYI BALÁZS, NYIRI GÁBOR: Országhatáron átnyúló hatások a magyarországi vízkészletekre, különös tekintettel a termálvizeket illetően..... | 5 |
| MARCELL KÁRPI, MÁTYÁS KRISZTIÁN BARACZA, SÁNDOR SZALAI, JÓZSEF PAP, HAFEDH NASSER ALMOUSAEDI: Discovering the subsurface of water sinks: testing of a new geoelectric methodology in the Bükk mountains, Hungary | 11 |
| JÓZSEF PAP, MÁTYÁS KRISZTIÁN BARACZA: Quantification of domain heat regeneration around deep borehole heat exchangers with cyclic operation | 21 |
| KOVÁCS ATTILA, ILYÉS CSABA, SZÚCS PÉTER: Assessment of climate change impact on spring discharge by a combined stochastic-analytical method, Aggtelek karst area, Hungary | 29 |
| LÉNÁRT LÁSZLÓ, MIKLÓS RITA: A Bükki termálkarst víztest (Kt.2.1) Bükk-térségi részén lévő kutak adatainak vizsgálata..... | 39 |
| TÓTH KATALIN: A bükkábrányi bánya vízműkútjának (Ba-189) ásványvízzé minősítése | 55 |
| ILYÉS CSABA, MIKLÓS RITA, LÉNÁRT LÁSZLÓ, SZÚCS PÉTER: A Bükk-hegység karsztvízszintjeinek wavelet elemzése | 61 |
| NYIRI GÁBOR, SZÚCS PÉTER, ZÁKÁNYI BALÁZS: Elérési idő meghatározása parti szűrési rendszerek példáján..... | 69 |
| BODOR KATALIN, BODOR ZSOLT, SZÉP ALEXANDRU, SZÉP RÓBERT, KERESZTESI ÁGNES, LÁSZLÓ SZILVIA, SZILÁGYI JÓZSEF, TAMÁSI BORBÁLA, BARTOS HUNOR: A romániai palackozott ásványvizek osztályozása..... | 77 |
| HIDVÉGI REBEKA, AMBRUS ESZTER KRISZTINA, CSENGERI KATA, KOVÁCS VIKTÓRIA, SZIGETI KATALIN: Nőgyógyászati betegségek komplex balneo-fizioterápiás kezelési lehetőségei Harkányban | 79 |
| ZOLTÁN VÁRI, NÓRA E. GÁL, ANDREA SZÚCS, ZSÓKA SZABÓ, ESZTER TIHANYINÉ SZÉP, TEODÓRA SZÓCS: Integrated re-evaluation of available geochemical data of a karstic geothermal system..... | 81 |
| JUHÁSZ ELEONÓRA, HABODÁSZOVÁ ORSOLYA, KISS-TÓTH EMÓKE: A hazai és szlovák gyógyvízkincs sajátosságai és balneoterápiai felhasználásának lehetőségei | 83 |
| MÁTHÉ ISTVÁN, KELEMEN ALPÁR, SIKLÓDI TAMÁS, ROKAI ZSOMBOR, IMECS ISTVÁN: Vízhozam, hordalékszállítás és vízkémiai monitoring a Gyilkos-tó és vízfolyásai esetében (Békás-szoros-Nagyhagymás Nemzeti Park, Románia)..... | 85 |
| HIDEGNÉ BÉLY ZSÓFIA: Harmónia – Hagyomány – Harkány, A harkányi gyógyvíz alkalmazásának lehetőségei a Pécsi Tudományegyetem Klinikai Központ Harkányi Termál Rehabilitációs Kórházban..... | 87 |
| HIDEGNÉ BÉLY ZSÓFIA, AMBRUS ESZTER: A gyógyfürdő látogatási szokások jellemzői a magyar lakosság körében | 89 |
| PÓNUS-TVERGYÁK ALINKA, KIS-KONDÁS DÓRA: Tiszaújvárosi komplex fizioterápiás kezelés hatásossága derékfájdalommal járó megbetegedésekben..... | 91 |
| TÓTH MÁRTON, KISS RÉKA: Az egerszalóki mésztufadomb komplex vizsgálata..... | 93 |
| ZSÓKA SZABÓ, JULIANNA MEKKER, ZOLTÁN VÁRI, NÓRA GÁL, ANDREA SZÚCS, ÉVA KUN, ÁGNES ROTÁRNÉ SZALKAI, GYÖRGY TÓTH, ESZTER TIHANYINÉ SZÉP, ANDRÁS CÉGÉNY, EDIT BABINSZKI, LÁSZLÓ BERECSKI: Introduction to the data system developed to aid geothermal exploration in Hungary | 97 |
| XVIII. NEMZETKÖZI TUDOMÁNYOS KONFERENCIA A KÁRPÁT-MEDENCE ÁSVÁNYVIZEIRŐL: Konferencia, részletes program | 99 |